



Universidade de Aveiro  
Ano 2015/2016

Departamento de Química

Gonçalo Martins  
Bernardo

Desenvolvimento e investigação de novos  
produtos e outros projetos relacionados  
com a indústria do tomate e Alta Pressão





Universidade de Aveiro    Departamento de Química  
Ano 2015/2016

Gonçalo Martins  
Bernardo

Desenvolvimento e investigação de novos  
produtos e outros projetos relacionados  
com a indústria do tomate e Alta Pressão

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para  
cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de  
Mestre em Biotecnologia no Ramo Alimentar, realizada sob a  
orientação científica do Doutor Jorge Manuel Alexandre Saraiva,  
Investigador Auxiliar do Departamento de Química da Universidade  
de Aveiro, e da Diretora do Departamento de Investigação e  
Desenvolvimento da Sugat Alimentos, S.A., Maria João Marques.



o júri

presidente

Doutora Ana Maria Rebelo Barreto Xavier

Professora auxiliar do Departamento de Química da Universidade de Aveiro

orientador

Doutor Jorge Manuel Alexandre Saraiva

Investigador auxiliar do Departamento de Química da Universidade de Aveiro

arguente

Doutora Ivonne Delgadillo Giraldo

Professora associada com agregação do Departamento de Química da Universidade de Aveiro



## Agradecimentos

Agradeço a todos os que diretamente e indiretamente contribuíram para a realização desta tese.

À empresa SUGAL, em especial à minha coordenadora Maria João Marques por proporcionar este estágio. Neste contexto prolongo os meus agradecimentos ao corpo de trabalhadores da SUGAL que me ajudaram e tanto me ensinaram ao longo do estágio. Por toda a dedicação, compreensão e amizade.

Agradeço ao meu orientador, professor Jorge Saraiva, pelo apoio dado durante a realização deste trabalho, assim como à equipa de Alta Pressão pela disponibilidade.

E por fim, mas não menos importante, à família e amigos pelo suporte e paciência.

Muitíssimo obrigado a todos.

palavras-chave Tomate, otimização de processamento, novos produtos, Recart, °Brix, Alta Pressão

resumo

O presente trabalho foi desenvolvido no âmbito do estágio curricular realizado na empresa Sugat Group, tendo como objetivo desenvolver vários projetos.

O primeiro objetivo foi o acompanhar a implementação e a otimização de uma nova linha de produção, tendo ficado definido o tratamento térmico para o produto em questão: tomate pelado inteiro com sumo de tomate, assim como todos os testes e otimizações necessárias da linha para que esta pudesse produzir na próxima campanha de tomate.

Seguidamente, de acordo com os objetivos foi delineada e desenvolvida uma gama de novos produtos (sopas), assim como otimizados processos de preparação e de esterilização para as mesmas. Foram aprovadas 4 das 5 sopas tendo em vista o seu desenvolvimento pré-industrial e encontrado o processo de tratamento térmico que mais se adequa às características de cada uma delas.

Também foi proposto desenvolver e testar um método preditivo de °Brix para aplicação na diluição de vários concentrados, não se atingindo um método definitivo. Foi possível detetar algumas diferenças do °Brix no método de diluição e nos resultados da análise dos diferentes concentrados de tomate, mostrando sobretudo que existe um maior desvio do °Brix do concentrado HB em relação ao concentrado CB e entre estes e o valor °Brix teórico.

Por último, testou-se a possibilidade de aplicação do processo de Alta Pressão em sumo de tomate, conseguindo-se obter um sumo seguro e estável à temperatura ambiente através de um processo a 600 MPa durante mais de 3 minutos.



keywords Tomato, process optimization, new products, Recart, °Brix, High Hydrostatic Pressure

abstract

The present work was developed within the curricular internship at Sugat Group, with the aim of developing several projects.

The first objective was to follow the implementation and optimization of a new production line, having defined the heat treatment of the product in question: whole peeled tomato with tomato juice, as well as all the necessary tests and optimizations of the line so that it could produce in the next crop.

Then according to the objectives, a range of new products (soups) were designed and developed, as well as optimized the preparation and sterilization processes. Four of the five soups were approved for the pre-industrial development and then found the heat treatment process that best suits the characteristics of each one.

It was also proposed to develop and test a predictive method of °Brix for application in the dilution of several concentrates, not reaching a definitive method. it was possible to detect some differences of the °Brix in the dilution method and in the results analysis of the different tomato concentrates, showing that there is a larger deviation of °Brix of the concentrate HB and CB and between these and the value theoretical °Brix.

Finally, it was tested the possibility of applying the High Pressure process in tomato juice, achieving safe and stable juice at room temperature through a process at 600 MPa for at least 3 minutes.



## Índice

<b>ÍNDICE.....</b>	<b>I</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>III</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS .....</b>	<b>IV</b>
<b>LISTA DE ABREVIACÕES .....</b>	<b>V</b>
<b>CAPÍTULO I. OBJETIVOS DO ESTÁGIO, DESCRIÇÃO DA EMPRESA E DAS SUAS ATIVIDADES</b>	<b>1</b>
I.1. Objetivos do estágio .....	1
I.2. Descrição da empresa SUGAL- ALIMENTOS, S.A. e detalhe das suas atividades .....	2
Contextualização histórica, social e económica do Grupo SUGAL	2
I.3. Produção Industrial.....	4
- 1ª Transformação	4
- 2ª Transformação/Retalho	6
- Análise de produtos/Controlo de qualidade	7
- Rastreabilidade	8
<b>CAPÍTULO II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>9</b>
II.1. Indústria do tomate .....	9
II.2. A matéria-prima – Tomate .....	10
Benefícios inerentes ao consumo de tomate	10
Tomate industrial	12
Concentrado de tomate	12
II.3. Tendências e Desenvolvimento na Indústria Alimentar.....	14
II.4. Técnicas de conservação de alimentos .....	16
II.4.1. Preservação e extensão do tempo de prateleira	16
- Inativação térmica de microrganismo em alimentos	16
- Pasteurização	16
- Pasteurização de produtos ácidos	17

- Esterilização	21
- Alta Pressão	23
<b>CAPÍTULO III. ATIVIDADES DESEMPENHADAS NO ESTÁGIO</b>	<b>32</b>
Departamento de Investigação e Desenvolvimento.....	32
III.1. Tetra Recart Tomate Inteiro pelado com Sumo de Tomate (TIP&ST) .....	32
Descrição do processo de produção	33
III.2. Alta Pressão .....	36
III.3. Desenvolvimento de Sopas.....	36
III.4. Método preditivo de °Brix na diluição de diferentes concentrados .....	37
<b>CAPÍTULO IV. MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>38</b>
IV.1. Materiais e Métodos ensaios de Alta Pressão.....	38
IV.2. Materiais e Métodos da Formulação de sopas .....	42
IV.3. Materiais e Métodos do Método preditivo de °Brix na diluição de diferentes concentrados .....	44
<b>CAPÍTULO V. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>46</b>
V.1. Alta Pressão .....	46
V.2. Desenvolvimento de sopas .....	49
V.3. Método preditivo de °Brix na diluição de diferentes concentrados .....	50
<b>CAPÍTULO VI. CONCLUSÃO</b>	<b>57</b>
<b>CAPÍTULO VII. PERSPETIVAS FUTURAS</b>	<b>58</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>59</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>65</b>

## Índice de Figuras

Figura 1 - Logótipo do Grupo Sugal .....	2
Figura 2 - Descarga e classificação (CFT, 2015) .....	4
Figura 3 - Concentrado de tomate .....	5
Figura 4 - Consistómetro de Bostwick .....	7
Figura 5 - Cinco maiores países produtores de concentrado de tomate do mundo entre 1993 e 2014 (FAOSTAT, 2015).....	9
Figura 6 - Visualização das camadas da embalagem Recart .....	32
Figura 7 - Modelo de linha de produção de Tetra Recart.....	33
Figura 8 - Enchedora .....	34
Figura 9 - <i>Loggers</i> .....	43
Figura 10 - Comparação da variação de °Brix de diferentes diluições de concentrado CB 28-30.....	51
Figura 11 - Comparação da variação de °Brix de diferentes diluições de concentrado CB 36-38 Direto.....	52
Figura 12 - Comparação da variação de °Brix de diferentes diluições de concentrado CB 36-38 Tela.....	52
Figura 13 - Variação de °Brix com correção de diferentes diluições de concentrado CB 28-30 Centrifugado com correção .....	53
Figura 14 - Variação de °Brix Centrifugado com correção de diferentes diluições de concentrado HB 28-30.....	55
Figura 15 - Variação de °Brix Direto com correção de diferentes diluições de concentrado HB 28-30 .....	55

## Índice de Tabelas

Tabela 1- Composição nutricional do tomate e produtos derivados. Adaptado de (Canene-Adams et al., 2005).....	10
Tabela 2 - Teor de carotenoides no tomate e derivados. Adaptado de (Tonucci et al., 1995) .....	11
Tabela 3 - Composição do tomate fresco e outros produtos selecionados. Adaptado de (Thakur et al., 1996) .....	13
Tabela 4 - Fases de funcionamento das autoclaves .....	35
Tabela 5 - Tabela classificativa .....	41
Tabela 6 - Resultados microbiológicos 1.º Ensaio .....	46
Tabela 7 - Resultados microbiológicos 2.º Ensaio .....	47
Tabela 8 - Resultados microbiológicos 3.º Ensaio .....	48
Tabela 9 - Resultados da Análise Físico-química .....	49
Tabela 10 - Valores °Brix teórico e real para diferentes diluições de concentrado CB 28-30 .....	50
Tabela 11 - Valores °Brix teórico e real para diferentes diluições de concentrado CB 36-38 .....	51
Tabela 12 - Valores °Brix teórico e real para diferentes diluições de concentrado CB 36-38 .....	52
Tabela 13 - Valores °Brix para diferentes diluições de concentrado CB 28-30.....	53
Tabela 14 - Valores °Brix para diferentes diluições de concentrado HB 28-30 .....	54
Tabela 15- Tabela de correspondência entre os mL de AgNO <sup>3</sup> gastos e a % de sal .....	65
Tabela 16- Tabela % Acidez cítrica monohidratada .....	66
Tabela 17- Tabela Correção acidez para Correção do Brix Refratométrico ( <a href="http://www.cobell.co.uk/uploads/downloads/Acidity%20correction%20values.pdf">http://www.cobell.co.uk/uploads/downloads/Acidity%20correction%20values.pdf</a> ) .....	67

## Lista de Abreviações

$a_w$	- Atividade da água
CB	- Cold Break
EUA	- Estados Unidos da América
FAO	- Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (Food and Agriculture Organization of United Nations)
FDA	- Administração de Alimentos e Medicamentos (Food and Drug Administration)
FT-IR	- Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier - (Fourier transform infrared spectroscopy)
HACCP	- Análise de perigos e pontos de controlo críticos (Hazard Analysis and Critical Control Points)
HB	- Hot Break
HPP	- Processo de Alta Pressão Hidrostático (Hydrostatic Pressure Process)
IU	- Unidade Internacional (International Unit)
LOX	- Lipoxigenase
MIR	- infravermelho médio (Middle-infrared)
MPa	- Megapascal (1,000,000 Pa)
N	- Normalidade (equivalente-grama/Volume solução)
°C	- Grau Celsius
PATP	- Esterilização Térmica Assistida por Pressão (Pressure-assisted thermal processing)
PCA	- Agar padrão para contagem (Plate Count Agar)
PET	- Politereftalato de etileno
PG	- Poligalacturonase
PME	- Pectinametilesterase
POTS	- Esterilização por Pressão e Aquecimento Óhmico (Pressure Ohmic Thermal Sterilization)
PP	- Polipropileno
SS	- Sólidos Solúveis
TIP&ST	- Tomate Pelado Inteiro e Sumo de Tomate

USDA - Departamento da Agricultura dos Estados Unidos (United States  
Department of Agriculture)



# **Capítulo I. Objetivos do estágio, descrição da empresa e das suas atividades**

## **I.1. Objetivos do estágio**

O delineamento dos objetivos do trabalho de estágio foi feito com base em problemas e oportunidades de projetos de desenvolvimento apresentados pela Sugat. Desta forma, os principais objetivos foram:

- Acompanhamento da implementação de uma nova linha de produção e otimização do processo térmico (pasteurização) de um novo produto (Tomate Pelado com Sumo de Tomate).**
- Aplicação de Alta Pressão Hidrostática para processamento de Sumo de Tomate.**
- Desenvolvimento de Sopas.**
- Desenvolvimento de um método preditivo de °Brix para aplicação em produtos obtidos a partir de concentrados de tomate.**

## **I.2. Descrição da empresa SUGAL- ALIMENTOS, S.A. e detalhe das suas atividades**

A Sugal (ver logótipo na Figura 1) é uma empresa do setor alimentar, especializada na produção e comercialização de concentrado de tomate e aposta fortemente na investigação e desenvolvimento de novos produtos alimentares.



**Figura 1 - Logótipo do Grupo Sugal**

A Sugal a partir do tomate criou uma empresa, de 100% capital português, produtora de concentrado de tomate portuguesa e multinacional, que já conta com um longo historial nesta indústria. A empresa viu no tomate uma fonte de inspiração com enorme potencial para diversos produtos. Constitui o principal objetivo do Grupo Sugal produzir os melhores produtos com a melhor qualidade ao melhor preço possível, tendo sempre uma abordagem responsável e sustentável, desde a produção do tomate ao produto final, preocupando-se com os recursos utilizados e assegurando-se da qualidade, certificada por várias entidades, promovendo o desenvolvimento de novos produtos e mantendo-se na vanguarda das novas tendências e tecnologias.

### **Contextualização histórica, social e económica do Grupo SUGAL**

Inaugurada em 1957 por Luís Ortigão Costa na Azambuja, a Sugal tornou-se uma empresa dedicada à produção de derivados de tomate. A primeira campanha surgiu no ano seguinte à fundação, em 1958. Durante anos, a fábrica foi crescendo e melhorada com novas tecnologias, desde evaporadores (1961), o primeiro sistema asséptico da Europa (1978), e ao longo dos anos foram-se aperfeiçoando, melhorando e renovando os processos e as tecnologias usadas, como processos de evaporação, pasteurização, com a aquisição de novos evaporadores e pré-evaporadores entre 1988 e 2006.

Em 2007, a Sugal passou a Sugallidal com a aquisição da fábrica da Idal (Indústrias de Alimentação Idal, Lda.) em Benavente. Em 2010 começou a expansão para a

internacionalização com a aquisição de uma fábrica em Espanha (Tomates del Sur em Cabezas de San Juan), duplicando a capacidade de produção da empresa. Em 2012, foram adquiridas mais 2 fábricas, agora no hemisfério Sul, no Chile (Tilcoco e Talca), de maneira a garantir mais de uma colheita por ano.

Em 2014, para ser reconhecida em todos os países pela mesma designação voltou a designar-se Sugal, formando o Grupo Sugal que representa assim todas as fábricas da Sugal no Chile, em Portugal e em Espanha.

O principal produto da Sugal é o concentrado de tomate, sendo exportadas mais de 220 mil toneladas de concentrado de tomate anualmente. Este produto é depois utilizado tanto por outras indústrias ou pela própria Sugal, como ingrediente para sopas, molhos, sumos, conservas ou ketchup. O tomate triturado e molhos para pizza representam 10% do volume de faturação, que correspondem a mais de 35 mil toneladas. Outro produto também vendido em embalagens industriais (de 215 a 1100 kg) com um volume anual de mais de 20 mil toneladas é o tomate em cubos. Para além destes, o outro produto mais conhecido, é o ketchup, que é a especialidade da Sugal.

Atualmente a Sugal é uma das maiores produtoras de concentrado de tomate e polpas de fruta que alberga mais de 250 postos de trabalho fixos e mais de 400 postos de trabalho temporários durante a campanha, detém cerca de 3% do mercado mundial de concentrado de tomate e é uma das maiores exportadoras de concentrado de tomate do mundo. A empresa dedica cerca de 95% da produção à exportação e está presente nos 5 continentes, em mais de 60 países.

### I.3. Produção Industrial

#### - 1ª Transformação

Para a preparação do sumo, depois de ser descarregado, o tomate é lavado, passa por várias triagens (ver Figura 2), para retirar tomate que não esteja dentro das condições que se pretende, assim como folhas, caules, pedúnculos e outros corpos estranhos. É esmagado e aquecido, de maneira a inativar enzimas. O aquecimento varia consoante a consistência pretendida para o produto final e por fim é crivado e transformado.



Figura 2 - Descarga e classificação (CFT, 2015)

O produto obtido através deste processo pode ser chamado *Cold break* ou *Hot break*, consoante a temperatura a que foi submetido o sumo. *Cold break* é submetido a temperaturas abaixo de 75°C, cerca de 60°C, de maneira que as enzimas, pectinametilesterase (PME) e poligalacturonase (PG) presentes no tomate retenham atividade enzimática, dando uma menor consistência final ao sumo. Neste processo o sumo mantém uma cor mais natural e um sabor mais fresco. Já o *Hot break* é submetido a temperaturas entre 85°C e 90°C que inativam a PME e PG e enzimas importantes para o aroma e viscosidade do produto, dando uma maior viscosidade, mas com menos compostos aromáticos, valor nutricional e causando alteração da cor, devido ao tratamento térmico (Goodman et al., 2002, Gould 1992; Sánchez et al., 2002). Pode ainda haver um produto intermédio que é um misto dos anteriormente referidos e que se chama de *Semi Hot Break* ou *Warm Break*. Após passar por uma máquina de refinamento onde são retiradas as peles

e as sementes, através de um crivo com lâminas rotativas que pode variar de tamanho consoante as características desejadas para o produto, obtém-se o sumo de tomate.

Na etapa seguinte à preparação do sumo, este é transferido para os evaporadores. Os evaporadores usam vácuo e temperatura para evaporar a água. Nesta fase o sumo passa por dois processos, o primeiro é um pré-concentrador, o segundo é um evaporador, processo realizado o mais rápido possível, de modo a evitar o menos possível a exposição a altas temperaturas, preservando a cor natural e o sabor. No final, o produto pode variar entre os 11° e os 38°Brix, passando a ser considerado concentrado (18-38°Brix) (Figura 3), ou polpa de tomate (11-18°Brix) consoante as características.



**Figura 3 - Concentrado de tomate**

Este concentrado de tomate é de seguida pasteurizado, de maneira a garantir a estabilidade e segurança do produto, e assim fica pronto para ser embalado. O embalamento é feito numa câmara asséptica em embalagens de tamanho industrial ou a quente em latas que são pasteurizadas de seguida. É então armazenado e exportado ou consumido nos 24 meses seguintes ao embalamento.

## **- 2ª Transformação/Retalho**

Na fábrica de Benavente são fabricados vários produtos à base de tomate, tais como: *ketchup*, polpa, sumo, *chili sauce*, molhos e outros produtos. É escolhido para cada tipo de produto o concentrado de tomate que mais se adequa ao resultado final pretendido. Todos os produtos são cuidadosamente criados de maneira a chegar às formulações ideais para cada caso, escolhendo sempre ingredientes com padrões de referência de qualidade.

Na fábrica da Sugat em Benavente existem 6 linhas de produção que têm a capacidade de embalar em embalagens de vidro, plástico PET (Politereftalato de etileno) e PP (Polipropileno), Tetra pak, *pouches cryovac* e uma nova linha para as novas embalagens da Tetra Recart. Todos os produtos são preparados a partir do concentrado de tomate sustentando a produção das cerca de 30 mil toneladas de produtos de retalho e *food service* produzidos, sendo que cerca de 95% desta produção é exportada.

## **- Análise de produtos/Controlo de qualidade**

A qualidade e segurança alimentar dos produtos produzidos pela empresa é garantida através dos ingredientes, materiais, embalagem e processos de qualidade adequados a cada produção. Começando na produção agrícola, passando pela colheita e acabando no processamento.

Com a implementação, nas linhas de produção, de um sistema de autocontrolo HACCP (*Hazard Analysis and Critical Control Points*), mantêm-se todos os riscos identificados controlados com as medidas de controlo implementadas. A Sugal tem um laboratório interno onde se avalia regularmente o produto ao longo de toda a produção.

Todas as matérias-primas são avaliadas para garantir o cumprimento das especificações das características físico-químicas, microbiológicas e de estabilidade, assim como a presença de resíduos de pesticidas, nitritos e nitratos. As embalagens são testadas certificando-se que estão bem seladas. A água utilizada é regularmente avaliada, de modo a garantir que cumpre os critérios legais aplicáveis.

### **Cor**

A cor é uma das qualidades que mais influencia os consumidores de produtos de tomate. Por isso uma cor vermelha forte é um atributo de qualidade importante neste tipo de produtos.

### **Consistência/Viscosidade**

Depois da cor, a consistência é provavelmente o parâmetro mais importante para o consumidor, sendo também um parâmetro muito importante durante as operações de processamento do tomate. A sua determinação on-line não é precisa, pois pode variar com o °Brix e diferenças na temperatura entre outros aspetos e na sua leitura normalmente utiliza-se um consistómetro de Bostwick (Figura 4) e é feita no laboratório.



**Figura 4 - Consistómetro de Bostwick**

## pH e Acidez

Outro dos parâmetros analisados para caracterizar os produtos de tomate é o pH, é especialmente importante porque o seu valor é determinante para o estabelecimento do processo térmico. O pH do tomate e dos produtos de tomate são normalmente inferiores a 4,6, são por isso considerados como alimentos ácidos, mas em alguns casos é feita a adição de ácido cítrico para assegurar um valor de pH mais baixo e assim conseguir-se aligeirar as condições do tratamento térmico.

## Sólidos Solúveis

A concentração de sólidos solúveis é outro parâmetro que caracteriza os produtos de tomate, é expresso em °Brix e medido com um refratômetro. Os principais constituintes que contribuem para os sólidos solúveis nos produtos de tomate são a frutose e glucose.

## **- Rastreabilidade**

Todo o processo desde a seleção da semente de tomate até à expedição de produto acabado é controlado. Cada produtor tem um “caderno de campo” onde regista todos os tratamentos a que foi submetida a plantação, assim como as características do solo, variedade do tomate e todos os transplantes e programas ocorridos. Ao longo da produção, cada produto está identificado pelo número de lote, número este que permite controlar a rastreabilidade de todo o processo produtivo, abrangendo todos os ingredientes e materiais da embalagem.



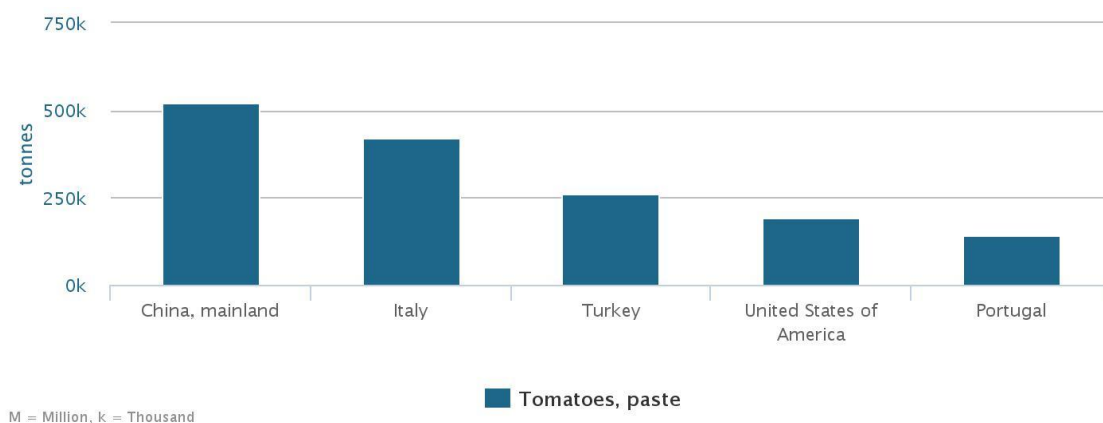
## Capítulo II. Revisão Bibliográfica

### II.1. Indústria do tomate

O tomate é um fruto muito consumido e cultivado em todo o mundo, sendo considerado uma das plantações mais importantes a nível global. A indústria do tomate cresceu bastante nas últimas décadas, tanto de tomate fresco como processado. Em 2013, segundo a FAOSTAT (2015) estimou-se uma produção de tomate de cerca de 163 milhões de toneladas mundialmente.

A indústria do tomate é das indústrias mais avançadas e globalizadas na área agrícola, devido à sua competitividade, dominada principalmente pela China, EUA e os países da bacia mediterrânea, incluindo Portugal. Existem dois tipos de sistemas de produção, um mais moderno usando estufas para controlar as condições e proteger as culturas, e o segundo é a típica cultura em campo aberto (Costa & Heuvelink, 2005).

Segundo a divisão de estatística da FAO, Portugal está entre os maiores produtores de concentrado de tomate em todo o mundo (Figura 5). Em 2013, Portugal produziu 1.742 milhões de toneladas de tomate, sendo também um dos principais produtores de concentrado de tomate da Europa, produzindo cerca de 190 mil toneladas das 942 mil totais produzidas na Europa, em 2013 (FAOSTAT, 2015).



**Figura 5 - Cinco maiores países produtores de concentrado de tomate do mundo entre 1993 e 2014 (FAOSTAT, 2015)**

## II.2. A matéria-prima – Tomate

O tomate pertence à família Solanaceae, género *Solanum*, espécie *Solanum lycopersicum*) (Costa & Heuvelink, 2005). Sendo o tomate dos frutos mais consumidos e produzidos no mundo, tanto para o mercado para consumo a fresco, como para as indústrias transformadoras, este fruto pode ter ainda diversos usos na cozinha. O tomate pode ser consumido na habitual salada, em sopas, acompanhamentos, molhos, doces, sobremesas, até sumos e pode ser usado de maneiras diferentes em variadíssimos pratos.

O tomate, nativo da América do Sul da região dos Andes, desenvolve-se em climas temperados e foi domesticado no México (Sims, 1980; Lang, 2004). Os espanhóis foram quem introduziu o tomate na Europa, no século XVI, através do explorador Hernán Cortés, segundo acreditam os historiadores (Lang, 2004).

### Benefícios inerentes ao consumo de tomate

O tomate é um fruto rico em nutrientes e benéfico para a saúde com todas as suas propriedades funcionais. Rico em vitaminas A e C é também uma fonte de  $\alpha$ -tocoferol (Vitamina E), potássio e ácido fólico (Tabela 1), assim como outros compostos benéficos como flavonoides ou o licopeno com resultados comprovados dos seus benefícios (Tabela 2) (Canene-Adams et al., 2005).

**Tabela 1- Composição nutricional do tomate e produtos derivados. Adaptado de (Canene-Adams et al., 2005)**

Produto de tomate (por 100g)					
Nutriente	Tomate fresco	Ketchup	Sumo de tomate	Molho de tomate	Sopa de tomate
Potássio (mg)	237	382	229	331	181
$\alpha$ -tocoferol (mg)	0,54	1,46	0,32	2,08	0,50
Vitamina A (IU)	833	933	450	348	193
Vitamina C (mg)	12,7	15,1	18,3	7,0	27,3
Folatos ( $\mu$ g)	15	15	20	9	7

As propriedades antioxidantes do licopeno, um carotenoide consumido principalmente através do tomate, criaram interesse no tomate e nos seus derivados, por ser considerado um alimento funcional com propriedades anticancerígenas, principalmente contra o cancro da próstata, antienvhecimento e ainda capaz de prevenir doenças cardiovasculares. Para além de prevenir doenças cardiovasculares, o licopeno e o tomate podem possivelmente prevenir o desenvolvimento de doenças, através da redução da inflamação, inibição da síntese de colesterol, ou através da melhoria do funcionamento do sistema imunitário (Petr & Erdman, 2005).

Dado os benefícios atribuídos ao tomate, é importante estabelecer que o tomate é usado muitas vezes em produtos processados, mas estes produtos como concentrado de tomate, sopa de tomate, *ketchup* e outros molhos à base de tomate são igualmente e a maior parte das vezes mais ricos, sendo uma maior fonte de licopeno biodisponível que o tomate fresco (Giovannucci, 1999) (Tabela 2 - Teor de carotenoides no tomate e derivados. Adaptado de (Tonucci et al., 1995).

**Tabela 2 - Teor de carotenoides no tomate e derivados. Adaptado de (Tonucci et al., 1995)**

<b>Produto de tomate</b>					
<b>Carotenoides</b>	Tomate fresco	Ketchup	Sumo de tomate	Molho de tomate	Sopa de tomate
	µg / 100g				
<b>β-caroteno</b>	449	560	270	290	75
<b>α-caroteno</b>	101	0	0	0	0
<b>Licopeno</b>	2573	17007	9037	15152	5084
<b>Luteína + zeaxantina</b>	123	0	60	0	1
<b>Fitoeno</b>	1860	3390	1900	2950	1720
<b>Fitoflueno</b>	820	1540	830	1270	720

## **Tomate industrial**

O tomate é o fruto que serve de base à indústria de concentrado, preparados e molhos de tomate. As principais qualidades prezadas no tomate para indústria são os sólidos solúveis, pH, acidez, consistência e cor. Como apresenta na sua composição maioritariamente água (93 a 95%) (Tabela 3) a indústria valoriza o tomate de acordo com o °Brix (sólidos solúveis totais), sendo que quanto maior o °Brix, maior o rendimento retirado do tomate, visto que a maioria dos gastos energéticos na produção de concentrado vem da extração da água do mesmo, através de evaporadores. Cerca de metade dos sólidos solúveis são açúcares (frutose e glucose), os restantes sólidos são ácidos orgânicos (cítrico e málico), aminoácidos, proteínas, lípidos, minerais, pectina, celulose e hemicelulose (Barringer, 2004).

Um segundo parâmetro importante na produção de concentrado é o pH, que tem um papel fundamental na segurança microbiológica e no impedimento de deterioração microbiana. O tomate é considerado um alimento ácido e por isso não necessita de tratamentos térmicos tão severos, ao contrário dos alimentos de baixa acidez ( $\text{pH} > 4,6$ ). O pH do tomate é determinado pela concentração dos ácidos orgânicos, sendo o ácido cítrico o mais abundante.

Outros fatores como a cor, estado de maturidade e variedade do tomate são também características avaliadas e tidas em conta para se ajustar o processo industrial ao tipo de produto final desejado.

Em suma, a indústria do tomate valoriza o tomate com valor de °Brix elevado, num estado de maturidade bom onde apresenta sobretudo uma cor vermelha viva e boa firmeza, pois a rigidez no tomate ajuda não só a facilitar o transporte como a resistir aos processos a que é submetido.

## **Concentrado de tomate**

Existem vários métodos de processamento de tomate envolvendo engenharia e meios tecnológicos. O concentrado de tomate é obtido através de tomate transportado do campo durante a época de colheita. Este é lavado e selecionado, através de seletores de cor eletrónicos e posteriormente à mão. Posteriormente o tomate é esmagado e sujeito a um tratamento térmico (*cold break* ou *hot break*), seguidamente passa por um crivo para retirar

peles e sementes e segue para a fase de evaporação até chegar à concentração desejada e por fim é pasteurizado (Rodríguez-Azúa et al., 2014).

**Tabela 3 - Composição do tomate fresco e outros produtos selecionados. Adaptado de (Thakur et al., 1996)**

	Tomate	Sumo	Concentrado	Ketchup	Chili Sauce	Puré
<b>Água (%)</b>	93,5	93,6	75	68,6	68	87
<b>Hidratos de Carbono (g)</b>	4,7	4,3	18,6	25,4	24,8	39
<b>Proteína (g)</b>	1,1	0,9	3,4	2,0	2,5	1,7
<b>Lípidos (g)</b>	0,2	0,11	0,4	0,4	0,3	0,2
<b>Cinza (g)</b>	0,5	1,1	2,6	3,6	4,4	2,2
<b>Ácido Ascórbico (g)</b>	23	16	49	15	16	33
<b>Vitamina A (IU)</b>	900	800	3300	1900	1400	1600
<b>Energia (cal)</b>	22	19	82	106	104	39

### II.3. Tendências e Desenvolvimento na Indústria Alimentar

A indústria alimentar tem vindo constantemente a evoluir e a acompanhar as novas tendências e tecnologias. A Sugal é uma empresa de concentrado de tomate que tem superado as constantes barreiras impostas pelo mercado tanto nacional como internacional. Num mercado orientado para o consumidor, a indústria alimentar está constantemente a ser desafiada a desenvolver produtos a custos acessíveis, sem comprometer a segurança, sendo que a maioria dos consumidores tem preferência por produtos levemente processados, com sabor fresco, com o mínimo ou sem conservantes. No entanto, o tomate é um fruto bastante perecível e precisa de tratamentos de preservação apropriados de maneira a prolongar o tempo de prateleira, mantendo as qualidades nutricionais e sensoriais.

A indústria alimentar tem-se interessado por novos processos de pasteurização que satisfaçam o aumento do desejo do consumidor por produtos de alta qualidade, prontos a comer mantendo os padrões de qualidade e de segurança alimentar (Peng et al., 2015). Novas alternativas tecnológicas emergentes estão a ser adotadas em complemento com os tradicionais processos térmicos.

Outro aspeto importante é a sustentabilidade de todo o processo de produção, a importância de melhorar o desempenho ambiental, e a necessidade económica de reduzir o desperdício, o que estimula a investigação de novas tecnologias de processamento de alimentos. Nas últimas décadas a otimização energética e recuperação de calor têm sido dos principais focos de atenção da indústria alimentar. A introdução de novas tecnologias de preservação de alimentos pode levar a uma redução significativa do consumo de energia e custos de operação, assim como melhorar a sustentabilidade da produção (Toepfl et al., 2006).

Qualidade e segurança dos alimentos são das principais preocupações dos consumidores e o principal objetivo dos processos da indústria alimentar. O conceito de “*food process engineering for product quality*” tem surgido nos últimos anos com o objetivo de criar e controlar processos de maneira a produzir produtos alimentares de qualidade e segurança. As propriedades finais do produto são consequência das alterações criadas pelo processo no alimento cru (Aguilera & Stanley, 1999). Estas alterações podem traduzir-se em diferenças na qualidade, como composição e características nutricionais, sabor e aroma, aspeto, forma e tamanho, cor, textura, etc. (Aguilera et al., 2003a, b). Para

dar resposta a todas estas pressões criadas tanto pelo consumidor como pela indústria alimentar, surgiu um processo adequado que é capaz de criar produtos de alta qualidade. A alta pressão é o tratamento que está a criar uma nova alternativa à atual pasteurização térmica.

## **II.4. Técnicas de conservação de alimentos**

### **II.4.1. Preservação e extensão do tempo de prateleira**

Para qualquer área da indústria alimentar a conservação de alimentos é fulcral, sendo assim necessário controlar ou reduzir o crescimento microbiano. Para inibir parcialmente ou completamente o crescimento microbiano são usados agentes como redução da temperatura,  $a_w$  reduzida, diminuição de oxigénio presente, aumento de dióxido de carbono ou azoto, aumento da concentração de etanol, acidificação, uso de enzimas, ou o uso de conservantes (Gould, 1996). A maioria das técnicas de preservação de alimentos é baseada em mais que um fator, que pode ser intrínseco ou extrínseco. No caso dos fatores intrínsecos temos o pH, humidade e  $a_w$  (atividade da água), potencial de oxidação-redução, nutrientes presentes disponíveis, pressão osmótica, a presença ou não de substâncias inibidoras e/ou barreiras físicas do alimento. No que diz respeito aos fatores extrínsecos de conservação temos as baixas temperaturas, baixa humidade relativa, diminuição de oxigénio e/ou aumento de dióxido de carbono ou outros gases. Para inativar microrganismos normalmente são usados como fatores de inativação: o calor, irradiação, pressão, eletroporação, o uso de agentes químicos ou enzimas (Gould, 1996).

#### **- Inativação térmica de microrganismo em alimentos**

Dependendo da intensidade de calor aplicada e a duração do processo, um tratamento térmico pode ser considerado como pasteurização ou esterilização.

#### **- Pasteurização**

Louis Pasteur (1862-1864) observou que a temperaturas de 50-60°C durante curtos períodos de tempo eram eficazes em eliminar os microrganismos deterioradores do vinho. Em 1870 estudou os microrganismos deterioradores da cerveja. A palavra “pasteurização” originalmente dada em homenagem ao cientista francês refere-se a um tratamento térmico suave (Temperatura <100°C) usado para preservação de alimentos, criado principalmente para inativação de enzimas deteriorantes e formas vegetativas de microrganismos (bactérias, leveduras e bolores) (Silva et al., 2004).



O processo de pasteurização é desenhado para se conjugar com outros parâmetros (exemplo: pH,  $a_w$ , Temperatura de armazenamento, e atmosfera da embalagem) de maneira a gerar um produto seguro e estável (Gaze, 2006). Mas a severidade do tratamento é determinada por outros fatores como as propriedades físicas e químicas do produto, as características de penetração de calor, os microrganismos e enzimas alvo, assim como as condições de armazenamento posteriores ao tratamento (Rodrigues & Andre., 2012). Hoje em dia a pasteurização é amplamente aceita como um método eficiente de preservação para destruir microrganismos patogênicos nos produtos alimentares, com perdas mínimas das características de qualidade dos produtos frescos.

A procura de produtos mais frescos pelos consumidores provocou o aumento de produtos pasteurizados nos últimos anos (Gaze, 2006). Novas tecnologias para conseguir criar os mesmos efeitos da pasteurização são cada vez mais comuns e a crescer rapidamente. O desenvolvimento destas novas tecnologias levou à ampliação da definição de pasteurização.

Segundo National Advisory Committee on Microbiological Criteria for Foods (NACMCF, 2006) – “A Pasteurização é um processo, tratamento ou uma combinação destes que é aplicada a alimentos para reduzir microrganismos de relevância à saúde pública mais resistentes até um nível que não apresente risco para a saúde pública, em condições normais de distribuição e armazenamento.” Esta definição permite a aplicação de várias tecnologias, isoladamente ou em combinação, para diferentes tipos de pasteurização que pode ser térmica (aquecimento com vapor e água quente, aquecimento óhmico, aquecimento através de micro-ondas, infravermelhos, etc.) ou não térmica (Alta pressão, radiação ultravioleta, irradiação, campos elétricos pulsados, tratamentos químicos, ultrassons, filtração, descarga de alta voltagem, etc.) (Peng et al., 2015).

#### **- Pasteurização de produtos ácidos**

Na indústria do tomate é usada principalmente a pasteurização em vez da esterilização, uma vez que o tomate tem um pH ácido (4,0 – 4,5). Depois da pasteurização os produtos não estão estéreis, e por isso são necessárias outras técnicas de preservação como fermentação, refrigeração, manter condições de anaerobiose, ou baixar a atividade de água ( $a_w < 0,65$  ou  $SS > 70^\circ\text{Brix}$ ). Uma exceção são os alimentos ácidos ( $\text{pH} < 4,6$ ) que se conservam às condições ambiente depois da pasteurização, uma vez que o ambiente ácido

não é propício ao crescimento de microrganismos deteriorantes ou perigosos, que tenham sobrevivido ao tratamento térmico, o que permite que estes produtos, depois da pasteurização, fiquem em prateleira longos períodos de tempo à temperatura ambiente. As condições de pasteurização devem ser capazes de inativar os microrganismos patogênicos vegetativos (bactérias, leveduras e bolores) e enzimas, e prevenir a degradação das características organoléticas e nutritivas do fruto (Silva et al., 2004). Nos produtos à base de tomate existem vários microrganismos deteriorantes, mas um dos mais comuns é o *Bacillus coagulans*. No entanto, o seu crescimento é completamente inibido a um pH inferior a 4 (Islam et al., 2006). Em *Ketchup* que contenha apenas 0,8% de ácido acético, este pode ser contaminado por várias *Saccharomyces* spp, pois este género de leveduras é capaz de resistir à presença de ácido acético devido a um sistema de transporte ativo que remove os iões de acetato das células (Sorrells & Leonard, 1988). Estes produtos de tomate podem ocasionalmente ter contaminações de leveduras na zona da tampa das embalagens já abertas. Mas as próprias condições destes previnem o crescimento da maioria das bactérias e de todas as bactérias patogênicas. É raro haver incidentes microbiológicos associados a estes produtos.

Os produtos da Sugal são submetidos à pasteurização térmica e consoante o pH do produto este é submetido a tratamentos diferentes, sendo que para pH entre 4,0 e 4,5 a pasteurização demora cerca de 5 a 15 minutos a 95°C, seguindo sempre os cálculos de destruição térmica para uma pasteurização comercial. O método mais utilizado é o sistema tubular (permutadores de calor contínuo), mas também são utilizadas autoclaves.

### **Efeitos da pasteurização térmica em frutos e vegetais**

Manter uma aparência natural e fresca é um dos principais objetivos da pasteurização de produtos como frutos e vegetais, para além da inativação de microrganismos relativos à segurança alimentar. Entre a comunidade científica já é amplamente sabido que a pasteurização térmica tem impacto na qualidade de frutos e vegetais, incluindo cor, textura, carotenoides, compostos fenólicos, atividade antioxidante, vitaminas e outras qualidades nutricionais (Peng et al., 2015).

## Cor

A cor tem um papel fundamental na aceitação do produto pelo consumidor, sendo uma das características mais importantes dos frutos e vegetais. A aparência visual deriva principalmente dos pigmentos presentes como clorofilas, antocianinas e carotenoides incluindo o licopeno, que traz benefícios nutricionais e de saúde.

A maioria dos autores refere que a degradação da cor por pasteurização térmica advém principalmente da intensidade do calor, duração do processo, modo de transferência de calor, compostos responsáveis pela cor e tempo de armazenamento (Peng et al., 2015).

A cor no sumo de tomate é mais rapidamente degradada com o aumento da temperatura, daí uma das vantagens de usar *cold break* em vez de *hot break*, dando uma cor mais natural ao produto final (Goodman et al., 2002; Sánchez-Moreno et al., 2006a).

## Carotenoides

Os carotenoides são um dos principais pigmentos encontrados em frutos e vegetais, e incluem  $\alpha$ - e  $\beta$ -carotenos, licopeno, xantofilas, luteína e zeaxantina. O licopeno é considerado um poderoso antioxidante e um agente que previne cancro, sendo responsável pela cor vermelha do tomate. Licopeno,  $\alpha$ - e  $\beta$ -carotenos podem sofrer isomerização, oxidação e outras reações químicas durante o processo térmico e o armazenamento devido à sua estrutura altamente insaturada (Rodriguez-Amaya & Kimura, 2004; Shi et al., 2003).

O efeito da pasteurização térmica nos carotenoides depende da intensidade do calor e das propriedades do produto. No entanto vários autores, tais como Odriozola-Serrano et al. (2009), observaram o aumento da quantidade de licopeno e  $\beta$ -caroteno depois da pasteurização em sumo de tomate.

Carotenoides, em produtos processados, durante o armazenamento também podem sofrer oxidação e isomerização das formas *trans* e *cis*, alterando o produto final nestas características. Segundo Odriozola-Serrano et al. (2008, 2009), um decréscimo do número total de carotenoides e da quantidade de licopeno foi observado no sumo de tomate pasteurizado, durante o armazenamento de 3 meses a 4°C, o que foi atribuído à quantidade de oxigénio existente na embalagem.

## **Textura**

A textura é outra das características a que o consumidor dá atenção. Mecanismos que levam à perda de textura durante o aquecimento, geralmente estão relacionados com a perda de turgor, devido ao rompimento de membranas celulares, e da degradação da parede celular, resultado de transformações enzimáticas e não-enzimáticas nas pectinas (Anthon et al., 2005; Greve et al., 1994ab; Peng et al., 2014; Sila et al., 2008). A maioria dos autores refere que se observa sempre perda de textura em alimentos processados em comparação com o alimento cru.

## **Compostos fenólicos e atividade antioxidante**

Os compostos fenólicos são importantes fitoquímicos que funcionam como compostos bioativos. Normalmente, a atividade antioxidante está relacionada com os compostos fenólicos presentes. Os efeitos na quantidade total de compostos fenólicos nos alimentos pasteurizados estão normalmente associados ao tipo de embalagem, condições de armazenamento e propriedades do alimento (Peng et al., 2015). No caso do sumo de tomate, os tratamentos térmicos até aumentam o potencial antioxidante total do sumo, isto é explicado porque a temperatura tem um efeito positivo na biodisponibilidade do licopeno. Para além disto o licopeno é bastante resistente à temperatura, ao contrário de outros antioxidantes como ácido ascórbico (Vitamina C), tocoferol e  $\beta$ -caroteno, que se degradam mais rapidamente com processos térmicos (Abushita et al., 2000).

A capacidade antioxidante está associada aos níveis de compostos bioativos presentes nos alimentos, tais como compostos fenólicos, vitamina C e licopeno. Geralmente, a capacidade antioxidante destes compostos é reduzida durante a pasteurização e esta diminuição está associada à intensidade de calor usado (Rayman & Baysal, 2011). No entanto, entre o sumo de tomate fresco e o sumo de tomate pasteurizado estas alterações na atividade antioxidante não se verificaram, a explicação deve-se ao facto que durante a pasteurização existe a formação de compostos, resultantes das reações de Maillard, compostos estes que contém atividade antioxidante, havendo apenas diminuição desta atividade antioxidante durante o armazenamento devido à perda de vitamina C e licopeno (Odriozola-Serrano, 2008).

## **Vitaminas**

Tanto os frutos como os vegetais são grandes fontes de vitaminas. O tomate é rico em várias vitaminas como A e C. Mas a vitamina C é das mais facilmente alteradas ou degradadas, sendo que na presença de oxigénio ou luz, e temperaturas altas o processo de degradação é acelerado. Devido a esta característica, a vitamina C serve normalmente de indicador da perda de vitaminas, assim como para avaliar a resposta de vários nutrientes sob a influência de calor. Durante os tratamentos térmicos existe grande perda da vitamina C, e quanto mais altas forem as temperaturas a que o alimento for submetido, mais rápido o processo de degradação será (Elez-Martínez & Martín-Belloso, 2007; Koo et al., 2008; Torregrosa et al., 2006).

Por exemplo, na pasteurização de gaspacho, uma sopa de vegetais à base de tomate, a 90°C durante 1 minuto verificou-se a redução do nível de vitamina C em 79,2% (Elez-Martínez & Martín-Belloso, 2007). Segundo Barba (2012), em bebidas à base de vegetais, outras vitaminas como vitamina E e D também sofrem degradação após a pasteurização.

### **- Esterilização**

A esterilização térmica foi e é um dos métodos de preservação de alimentos mais largamente usado em todo o mundo e contribuiu significativamente para o bem-estar nutricional da maioria da população mundial. Tipicamente, o método de esterilização consiste no aquecimento dos alimentos até uma temperatura específica elevada (superior a 100°C) durante um determinado período de tempo. Este tempo de processamento é calculado para alcançar inativação requerida em cada recipiente de maneira a obedecer aos padrões de segurança pública ao nível das bactérias e esporos. Em cada tratamento térmico assistir-se-á sempre à degradação de compostos sensíveis ao calor, como vitaminas e outras características de qualidade, o que é indesejável. Estes fatores de qualidade e segurança requerem muita atenção no cálculo do binómio tempo/temperatura e no seu controlo.

Tipicamente o processo de esterilização térmica ocorre em autoclaves de maneira a chegar a temperaturas superiores a 100°C. Para a esterilização comercial usa-se uma redução de 12 ciclos logarítmicos para o microrganismo de referência, neste caso a

esterilização comercial é relativa a esporos de *Clostridium botulinum*, também conhecida como “*botulinum cook*”, sendo que cada ciclo corresponde à redução de 90% da população microbiana inicial.

O processo é validado calculando-se o valor de F (valor de esterilização), que é o tempo necessário a uma temperatura definida constante, a temperatura de referência ( $F_0$ ) corresponde a 121,1°C, de maneira a saber o impacto da redução para o tratamento específico, assim como a letalidade do processo. Por exemplo, o valor de D para *Clostridium bolulinum* a 121,1°C é de cerca de 0,21 minutos e para alcançar uma esterilização comercial o valor de D é 2,52 minutos à temperatura referida.

## **- Alta Pressão**

### **Desenvolvimento Histórico**

A alta pressão utilizada em tratamentos alimentares data do final do século XIX (1880-1899). Em 1882 Soxhlet (1881), estudou a conversão de amido em glucose sob pressão. Mais tarde, Stern (1897) verificou que a 50 MPa a inversão acídica da sacarose é inibida. Quando começou a ser possível operar a pressões superiores a 100 MPa, abriram-se as portas a novas possibilidades. A eficiência da pressão a inativar bactérias deteriorantes foi demonstrada tratando o leite a 680 MPa (Hite, 1899).

No início do século XX, de 1909 a 1959, Percy W. Bridgman investigou extensivamente a engenharia da alta pressão hidrostática, desde a compressibilidade, condutividade térmica, mudanças de fase e transformações polimórficas. Uma das maiores contribuições de Bridgman foi o diagrama das fases da água sob pressão. Esta investigação tem especialmente importância porque grande percentagem da constituição dos alimentos é água. Em 1914, Bridgman mostrou que ao tratar um ovo com pressão, a sua clara (albumina) ao coagular se assemelhava à de um ovo cozido. Em 1918, Larson et al. fizeram outra descoberta, mostrando que esporos de bactérias (*Bacillus subtilis*) são capazes de sobreviver a tratamentos de 1200 MPa à temperatura ambiente.

Nos anos 20, as reações químicas causadas pela alta pressão foram reconhecidas graças ao exemplo dado por Brown (1920), que foi capaz de produzir fenol através de clorobenzeno usando um processo de alta pressão em reator contínuo. Durante o século XX houve desenvolvimentos em várias áreas e em 1970 a indústria alimentar investigou o uso de pressão supercrítica (30-50 MPa) para retirar a cafeína do café (King, 2014). Por outro lado, no Japão (1990) iniciou-se a comercialização de compotas e geleias. Em 1997, nos EUA foi comercializado guacamole processado em alta pressão. O primeiro produto processado a alta pressão introduzido na Europa foi fiambre fatiado (Tonello, 2010).

Segundo Dunne (2005), a Alta Pressão Hidrostática tem sido considerada uma das inovações mais importantes do processamento de alimentos nos últimos anos. Tendo sido aprovada pela FDA (Food and Drug Administration) e o USDA (Department of Agriculture) como uma tecnologia de pasteurização em produtos pré-embalados, para produção de alimentos pasteurizados de baixa acidez e produtos ácidos estáveis em

prateleira. Na Europa, a Comissão Europeia deu início à regulação dos alimentos processados pela HPP para se adaptar à legislação de produtos alimentares (European Commission, 1997; Barbosa-Cánovas et al., 2005).

Outro método de esterilização conhecido por “*pressure-assisted thermal processing*” (PATP), usando temperatura e assistido por alta pressão tem sido indicado com potencial comercial. Mais recentemente foi desenvolvido um novo método que utiliza simultaneamente pressão e calor por aquecimento ôhmico para inativar esporos bacteriais, denominado por “*pressure-ohmic-thermal sterilization*” (POTS). Verificou-se que com este método era possível esterilizar de modo mais eficiente (Park et al., 2013, 2014).

### **Princípios básicos e descrição do processo de alta pressão**

Alta Pressão Hidrostática (HPP) é um processo que utiliza pressões entre 100 e 800 MPa, com ou sem aplicação de calor, durante segundos até vários minutos, para inativar microrganismos patogênicos e outras formas deteriorantes como bactérias vegetativas, leveduras, bolores, vírus e esporos de forma a garantir a segurança microbiológica dos alimentos (Balasubramaniam et al., 2015). A HPP é uma tecnologia, que é capaz de oferecer uma alternativa à pasteurização térmica e uma vida em prateleira a vários tipos de produtos mais longa, mais ecológica e natural (Wolti-Chanes et al., 2005)

### **Princípio Isostático**

O processo de HPP segue o princípio isostático. Este princípio pressupõe que a aplicação da pressão atua uniformemente e em todas as direções, independentemente do tempo e espaço. Esta pressão é estabelecida através de um fluido, neste caso água, que vai afetar instantaneamente e homogeneamente todo o alimento, independentemente da forma e tamanho do mesmo.

Este princípio explica também o porquê de alimentos não porosos com grande quantidade de água não serem danificados macroscopicamente pela alta pressão. Como o ar e a água diferem na compressibilidade sob pressão, a estrutura e forma dos alimentos que contém ar podem ser alterados quando tratados com alta pressão, a menos que sejam elásticos o suficiente ou o ar esteja numa estrutura da qual não seja capaz de escapar (Balasubramaniam et al. 2008).



## **Princípio de Le Chatelier**

Este princípio refere as alterações ao equilíbrio como resultado da aplicação de pressão. Este constata que qualquer fenómeno (transição de fase, mudanças na configuração molecular, reação química) acompanhado de uma diminuição/aumento no volume será acelerado/retardado pelo aumento de pressão (Balasubramaniam et al., 2015).

## **Embalagem**

Existe uma variedade de embalagens que podem ser usadas em HPP, que são flexíveis e de materiais que resistem e protegem as amostras durante o tratamento e em prateleira. O volume, a geometria e a composição (tipo de polímero, espessura, e as propriedades da selagem) dos materiais da embalagem são considerações muito importantes a ter na seleção dos materiais utilizados para HPP (Balasubramaniam et al., 2004).

Pelo menos uma das faces da embalagem deve ser flexível o suficiente para transmitir a pressão. A presença de ar/oxigénio na embalagem deve ser o menor possível ou inexistente, pois o oxigénio ao dissolver-se no alimento, com a pressão, torna-se mais reativo, tornando o singlete de oxigénio mais duradouro quando aplicado pressão até 400 MPa segundo Okamoto (1992). Também o ar tem diferentes propriedades de compressibilidade comparado com a água, sendo necessária mais energia para comprimir ar. Por isso, é recomendável minimizar a presença de ar na embalagem, usando de preferência embalamento em vácuo.

É importante também ter em consideração que a temperatura sobe cerca de 3°C a cada 100 MPa, pelo que a embalagem deve ser capaz de resistir a estas alterações de temperatura durante o processo, assim como a selagem/fecho da embalagem.

## **Segurança Microbiológica de Produtos de HPP**

A eficácia do tratamento depende da intensidade da pressão e temperatura combinada aplicada aos alimentos. Diferentes microrganismos variam consideravelmente no tipo de tratamento e intensidade. Pressões de 400-600 MPa à temperatura ambiente ou a baixas temperaturas são eficazes a inativar uma variedade de microrganismos patogênicos e células bacterianas vegetativas deterioradoras, leveduras, bolores e vírus. Entre as bactérias vegetativas, as Gram positivas são geralmente mais resistentes à pressão do que as Gram negativas. Entre espécies pode haver variações no tipo de tratamento mais eficaz. Durante a fase estacionária do crescimento celular, as células tendem a ter mais resistência do que na fase exponencial.

A aplicação de pressão sem uso de temperatura não tem qualquer efeito na destruição de esporos e pode por sua vez ativar a germinação dos mesmos (Farkas & Hoover, 2000; Black et al., 2007). Segundo Reineke et al. (2013), pressões de 100-400 MPa a temperaturas de 20 a 50°C ativam a germinação de esporos. Mas depois de germinadas, as células em crescimento estão mais vulneráveis à destruição através da aplicação de pressão ou tratamento térmico, no entanto é difícil assegurar que todos os esporos presentes germinaram. Através deste processo ainda não é possível assegurar a esterilização do alimento em alimentos com baixa acidez.

A pressão é capaz de tornar os alimentos seguros porque causa a inativação bacteriana por desnaturação. Quando sujeitos a esse tipo de pressão as enzimas responsáveis pela replicação da célula sofrem alterações de conformidade da membrana. A alta pressão afeta a permeabilidade das membranas, perturbando o equilíbrio da célula, levando à inativação dos microrganismos vegetativos (Balda et al., 2012).

## **Aplicações de HPP na indústria alimentar**

Existem várias aplicações para o uso da pressão na indústria alimentar, com ou sem calor o uso de pressões elevadas de 100-800 MPa pode servir para vários processos, desde preservação de alimentos, incluindo congelar e descongelar, branqueamento, pasteurizar e esterilizar.

Na pasteurização através de HPP normalmente são usadas pressões de 400-600 MPa a temperaturas baixas ou à temperatura ambiente, o que permite reter características sensoriais de frescura ou “acabadas de fazer”, assim como os componentes nutricionais, este tratamento pode ser aplicado a alimentos líquidos ou sólidos, incluindo refeições já preparadas, saladas, marisco, sumos de fruta e vegetais (Mujica-Paz et al. 2011, Tonello 2010, Norton & Sun 2008). Normalmente este tipo de alimentos pasteurizados a alta pressão são armazenados em ambientes refrigerados, pois não são capazes de inativar esporos bacteriais. Para além disto muitas das vezes a pressão aplicada não é capaz de inativar todas as enzimas. Para que isto ocorra é necessário usar algum tratamento térmico antes de aplicar HPP.

A alta pressão é capaz de alterar a conformidade dos ingredientes sendo capaz de embeber alimentos, por exemplo para marinar carnes, assim como homogeneizar soluções, formar géis e criar a aparência de alimentos cozidos tudo através da aplicação de pressão mesmo a baixas temperaturas, tendo muitas outras aplicações que estão por descobrir ou a ser desenvolvidas.

## **Efeitos da HPP em frutos e vegetais**

### **Cor**

O processo de alta pressão a temperaturas baixas ou moderadas tem um efeito limitado nos pigmentos responsáveis pela cor das frutas e dos vegetais, embora durante o armazenamento a cor dos mesmos produtos possam sofrer alterações, devido à inativação incompleta das enzimas ou outros microrganismos, que vai resultar em reações indesejáveis. A uma pressão constante, a taxa de degradação das clorofilas aumenta com o aumento da temperatura (Van Loey et al., 1998), ao passo que a elevadas temperaturas o aumento da pressão acelera a degradação tanto da clorofila a como b. Segundo Van Loey et al (1998), o aumento da pressão de 200 para 800 MPa acelera a degradação da clorofila a e b nos brócolos de 19,4% para 68,4% (Oey et al., 2008).

Processos de alta pressão à temperatura ambiente resultam em alterações mínimas em vegetais verdes, por vezes até se intensifica a cor, como é o caso do feijão-verde processado a 500 MPa durante 1 minuto (Krebbbers et al., 2002). Este avivamento da cor é causado pela disrupção da membrana, resultando na libertação da clorofila no meio

intercelular. Vegetais, tais como o feijão-verde, mantêm uma cor aceitável ao longo de um mês de armazenamento. Mas outros como é o caso dos brócolos ao longo do armazenamento acabam por se tornar amarelos, provavelmente devido à oxidação (Krebbbers et al., 2002).

Os carotenoides são bastante estáveis sob pressão. A alta pressão ajuda à separação de carotenoides da matriz alimentar. A isomerização, induzida por pressão, de todas as formas *trans* do licopeno em hexano foram observadas durante um tratamento de 500 MPa e 600 MPa (temperatura ambiente/12 minutos). Mas em concentrado de tomate este fenómeno não acontece, e a cor permaneceu inalterada mesmo a pressões de 700 MPa a 65°C durante 1 hora (Rodrigo et al., 2007). Noutros estudos em produtos à base de fruta não se observaram diferenças na cor após o tratamento como por exemplo em sumo de uva (Daoudi et al., 2002), e polpa de manga (Ahmed et al., 2005).

## **Textura**

As alterações na textura de frutos e vegetais estão relacionados com transformações na parede celular devido a reações enzimáticas e não-enzimáticas (Sila et al., 2007). Devido à alteração/destruição da célula, a alta pressão auxilia a ocorrência de reações enzimáticas e não enzimáticas. Ao serem libertados os componentes do interior da célula, estes podem interagir entre eles e com as enzimas presentes, como a pectina metilesterase (PME) que com a pressão se pode tornar mais ativa ou como a poligalacturonase (PG), que reduz a sua atividade com a HPP à temperatura ambiente. Estas podem originar diferentes resultados consoante a pressão aplicada (Oey et al., 2008). O comportamento da PME de diferentes frutos apresentam diferenças sob pressão e estabilidades a diferentes temperaturas. Como consequência, para criar texturas, sem processos térmicos, é necessário usar diferentes combinações de pressão e temperatura para ativar ou inativar as pectinases (Oey et al., 2008). Um estudo em tomate cherry mostrou que estes amoleciam com a pressão, quando tratados com 200 a 400 MPa durante 20 minutos a 20°C, mas usando pressões acima de 400 MPa (500 e 600 MPa/20°C/20 min), já não se verificava uma alteração na textura tão significativa. Isto é resultado da atividade da PME e PG, uma vez que a PG é capaz de despolimerizar a pectina que foi demetilada pela PME (Oey et al., 2008).

## **Sabor e Aroma**

Em geral o sabor fresco dos frutos e vegetais não é alterado depois de processado em alta pressão, visto que os compostos que estão associados ao sabor são estruturas moleculares bastante pequenas que não são diretamente afetadas pela pressão. Mas por vezes pode haver alterações indesejáveis no sabor.

O hexanal é um composto volátil. Quando quantificado este mostra alterações nos frutos e vegetais, resultado da HPP, destruindo o equilíbrio entre os sabores. Porretta et al. (1995) reportou que ao tratar sumo de tomate em alta pressão (500, 700 e 900 MPa/ temperatura ambiente 3, 6 e 9 min) este ficou rançoso. A explicação está no aumento da concentração de n-hexanal, sendo que valores até 1,2 mg/kg de hexanal estão associados ao típico sabor fresco no tomate. No estudo em causa o sumo fresco continha cerca de 0,3 mg/kg e quando tratado aumentou para 6,4 mg/kg causando o sabor rancido. O aumento da concentração de n-hexanal é resultado da alta pressão induzindo oxidação de ácidos gordos livres como ácido linoleico e linolénico. A lipoxigenase (LOX) e a hidroperóxido-liase são parcialmente responsáveis pelo desenvolvimento deste sabor, pois são estas que catalisam a oxidação. Em tomate aos cubos a atividade da lipoxigenase foi reduzida para quase metade, em resultado da alta pressão 400 MPa (25 ou 45°C/1-5 min) e ainda foi mais reduzida após 800 MPa (25 ou 45°C/1 min) (Shook et al., 2001).

Apesar de algumas propriedades sensoriais dos frutos e vegetais não serem completamente conservadas, a alta pressão continua a ser um método de preservação promissor, pois as propriedades de muitos produtos são superiores aos produtos processados por métodos convencionais, como pelo calor.

## **Vantagens da HPP**

A Alta pressão veio dar resposta a certas necessidades dos consumidores e da indústria. O consumidor dava e dá preferência a produtos e alimentos que sejam processados o mínimo possível, sem aditivos, com aspeto fresco, saudáveis e agradáveis ao paladar, mantendo-se seguros do ponto de vista microbiológico durante um período prolongado e mantendo a elevada qualidade do mesmo. A HPP é capaz de reter a aparência fresca, aumentando o tempo em prateleira sem utilizar a temperatura para inativar os

microrganismos e conservando os alimentos. Portanto, é uma melhor alternativa em relação aos processos tradicionais devido às alterações mínimas que provoca, resultando em modificações nutricionais e sensoriais mínimas sem destruição de compostos sensíveis, como vitaminas e outros relacionados com aroma (Rastogi & Knorr, 2013). Por ter apenas um efeito limitado nas ligações covalentes, o resultado são modificações nutricionais e sensoriais mínimas no produto final.

Entre as muitas vantagens, a HPP é capaz de adicionar valor a alimentos de baixo custo ou sensíveis ao calor e a alimentos pré-preparados, pode prolongar a vida em prateleira de alimentos refrigerados já existentes, tem o potencial de criar alimentos livres de aditivos ou outros químicos sem ter impacto no tempo de vida do produto (Gutiérrez-López et al., 2008). Ainda tem a vantagem de usar poucos recursos, pois apenas necessita de eletricidade e água, água esta que é reutilizada ao longo de vários processos. Ao não ser dependente da temperatura na maioria dos casos, ainda é mais amiga do ambiente tornando a pegada ecológica menor e os produtos mais sustentáveis.

### **Efeitos da HPP em produtos de tomate**

#### **Outros estudos em produtos de tomate**

Para além da segurança microbiológica, um dos aspetos mais importantes em produtos à base de tomate são a cor, sabor e a consistência (Hayes et al., 1998). Nos produtos de tomate, acontecem reações importantes durante o processo térmico como a degradação do licopeno da forma *trans* à forma *cis*, resultando em alterações de cor (Rodrigo et al., 2007). Outro processo é a estabilização, mantendo a consistência, viscosidade, ou seja, manter a porção sólida em suspensão durante o período de prateleira. Esta característica é fortemente afetada pelas pectinas presentes e as enzimas que as degradam, como a PME e PG. Mas já se sabe que ao aplicar temperatura esta vai afetar outras características que valorizam o produto, tais como reter cor e o sabor, reduzindo a produção de compostos não desejáveis.

Vários investigadores já demonstraram que a HPP pode melhorar propriedades como a cor e a viscosidade em comparação com os processos térmicos convencionais (Porretta et al, 1995). Está demonstrado que HPP em combinação com calor pode inativar as enzimas

PG e PME (Fachin et al., 2003; Crelier et al., 2001). Segundo Hsu (2008a), num estudo de comparação entre a alta pressão hidrostática com processos térmicos de *hot break* e *cold break*, um processo de alta pressão hidrostática a 4 e 25°C durante 10 minutos a 500 MPa é uma alternativa melhor aos processos térmicos, baseando-se na cor, viscosidade, extração de carotenoides e licopeno, atividade antioxidante total e inativação de PME e PG, apesar dos processos térmicos serem mais eficientes apenas na inativação das enzimas. Este estudo mostrou que a 300 MPa a 4 e 25°C a quantidade de licopeno e carotenoides disponíveis aumentou para 62% e 56%, respetivamente, comparando com o controlo (sumo de tomate sem tratamento).

Um outro estudo do mesmo autor, Hsu et al (2008b), em que comparou sumo de tomate pasteurizado com sumo de tomate processado em alta pressão ao longo do tempo (28 dias) a 4°C, mostrou mais uma vez as qualidades da alta pressão, em relação aos métodos convencionais, sendo que os métodos convencionais apesar de conseguirem produzir um sumo estável microbiologicamente, em todos os outros aspetos (cor, viscosidade, extração de carotenoides e licopeno, vitamina C) tiveram perdas significativas após o processo e ao longo do tempo.

A alta pressão em processos com mais de 300 MPa ajuda a preservar melhor a cor, os carotenoides e o licopeno ao longo do tempo. No mesmo estudo ocorreu sinérese no sumo processado a 300 e 400 MPa, durante o sétimo e o décimo quarto dias devido à atividade da PME e da PG. A vitamina C, apesar de ter sido degradada em todos os processos, a alta pressão ajudou a reter relativamente mais quantidade de vitamina C comparado com o tratamento térmico (Sánchez-Moreno et al., 2006b).

## Capítulo III. Atividades desempenhadas no estágio

### Departamento de Investigação e Desenvolvimento

O Departamento de Investigação e Desenvolvimento tem como objetivo delinear e tratar de todo o processo de desenvolvimento de produtos, desde a sua produção até à informação nutricional da embalagem, assegurando que tudo está aprovado tanto pelo cliente como pelas entidades reguladoras. Para isto ser possível, existe uma equipa de investigadores que em conjunto com as especificações que o cliente pede, prepara todas as formulações, que são posteriormente analisadas e enviadas para avaliação do cliente. As formulações são preparadas na cozinha do departamento onde existe uma planta piloto, de maneira a recriar as condições da cozinha industrial.

Neste departamento para além do desenvolvimento de projetos, também faz parte do objetivo do mesmo acompanhar e assegurar que são cumpridos os padrões de qualidade dos processos usados na fábrica, assim como coordenar os planos de HACCP das linhas de produção e também a gestão das certificações de qualidade e segurança alimentar segundo as várias normas aplicáveis.

#### III.1. Tetra Recart Tomate Inteiro pelado com Sumo de Tomate (TIP&ST)

Inicialmente, o principal objetivo deste estágio era acompanhar a implementação de uma nova linha de produção, onde se iria otimizar o processo térmico da pasteurização do produto TIP&ST.

Esta nova linha permite produzir este produto, já comercializado pela empresa, mas numa nova embalagem. Esta nova embalagem distingue-se por ser cartonada para produtos pasteurizados em autoclave, denominada Tetra Recart (Figura 6). Esta embalagem assemelha-se às tradicionais da Tetra Pak, elaboradas com 65% de papel, mas com a diferença de suportar o processo de pasteurização/esterilização sem alterar as suas características, mesmo após 3 horas em ambiente com 100% de humidade, pressão e temperatura de 130°C



**Figura 6 - Visualização das camadas da embalagem Recart**

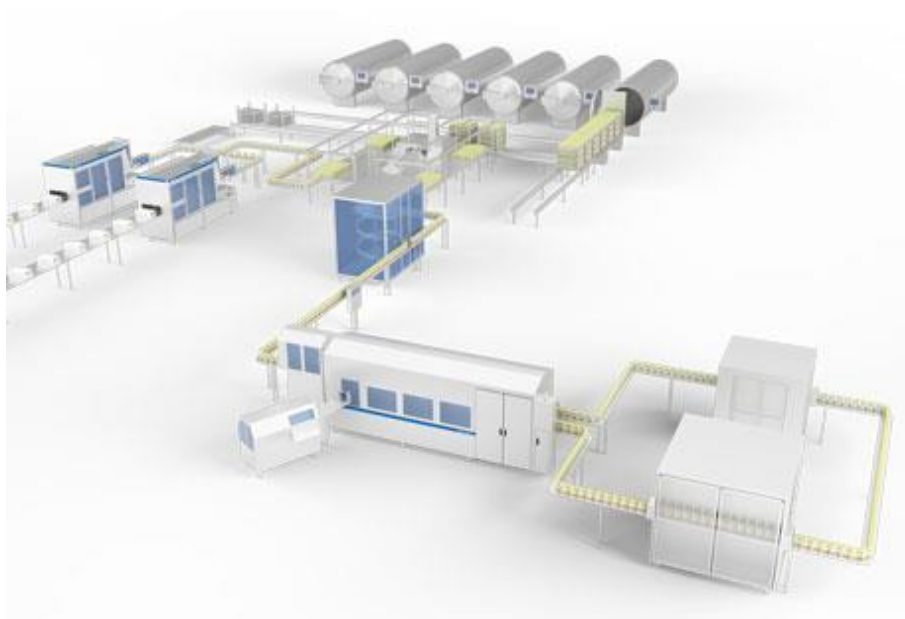


(Tomoori, 2005). As principais vantagens são o seu baixo peso, o formato retangular que permite um melhor aproveitamento de espaço em stock e durante o transporte, a segurança da embalagem para uso doméstico, sem riscos de cortes para os usuários e a qualidade de impressão da rotulagem (Tetra Pak, 2015).

A linha da Tetra Recart é usada sobretudo para produção de tomate em pedaços, tendo um equipamento diferente de enchimento do existente para tomate inteiro. Para este produto recorreu-se a duas novas enchedoras com capacidade tecnológica de separação e pesagem, conseguindo-se fazer a separação do tomate, enchimento de sumo, e de tomate na quantidade correta com o mínimo de variações.

### **Descrição do processo de produção**

Resumidamente a linha da Tetra Recart (Figura 7) é composta pelas enchedoras (Figura 8) onde chega o tomate pelado inteiro e o sumo de tomate, a formadora, seladora de embalagens e as autoclaves.



**Figura 7 - Modelo de linha de produção de Tetra Recart**

Antes de entrar na linha o tomate é pelado e transportado para as enchedoras onde por vibração são distribuídos pelas balanças das enchedoras. O sumo do tanque é regulado com ácido cítrico para garantir o pH correto e só depois transportado para o tanque da enchedora. Depois de colocadas as embalagens na formadora de embalagens, esta abre e sela a parte inferior da embalagem, que vai correndo a linha em caixas que a seguram e a



**Figura 8 - Enchedora**

mantém posicionada. Quando chegam à enchedora o fundo é preenchido com sumo de tomate, de seguida com tomate e por último o resto com sumo. Após o enchimento são seladas e transportadas para as autoclaves onde sofrem o processo de pasteurização. Após o arrefecimento passam por um secador e um raio-X até à paletização.

Sendo o objetivo a otimização do processo térmico tive de adquirir conhecimento de todo o processo envolvido nas autoclaves. O processo de funcionamento encontra-se descrito na Tabela 4.

Existem atualmente 5 autoclaves e todas as autoclaves têm os seus testes de distribuição de temperatura, variando entre si no tempo de aquecimento e arrefecimento o que pode ter implicações no produto. A partir do processo e dos testes realizados anteriormente de distribuição de temperatura e assinalando os *cold spots* podemos a partir destes delinear o processo térmico sabendo de antemão que existem várias variáveis, tais como: viscosidade, tamanho das partículas/sólidos, rácio de líquido-sólido, tipo de embalagem, dimensão, forma, e o tipo de condições da operação (volume de embalagens, espaço por encher, temperatura exteriores, etc.). Sabendo o tipo de produto (tomate e sumo de tomate), embalagem e supondo que cada autoclave está completa o tempo de cada processo demorará cerca de 2 horas, sendo o produto pasteurizado de modo a garantir na fase de pasteurização pelo menos 10 minutos a 95°C em todo o produto.

Durante a campanha de 2015 foram feitos os testes necessários para que se pudesse produzir na campanha de 2016, após a otimização de alguns aspetos e o tratamento térmico necessário ficou definido em 2015. Mas para chegar a esta fase do processo é primeiro necessário testar e validar que a linha está em condições para produzir um produto de qualidade, com a mesma quantidade de produto em cada embalagem sem falhas na selagem e a uma frequência regular. Durante o período de otimização das novas

enchedoras familiarizei-me com os requisitos de aprovação citados no *Codex Alimentarius*, os planos HACCP da linha, as diretrizes de pasteurização para produtos ácidos e também os regulamentos de higiene e segurança.

**Tabela 4 - Fases de funcionamento das autoclaves**

<b>Fase de enchimento</b>	Na primeira fase, o nível da água aumenta, com o propósito de ter água suficiente para evitar alguma hipótese de cavitação na bomba durante o processo
<b>Pré-aquecimento</b>	É benéfico para a qualidade do produto e para diminuição da duração do processo que o processo comece com água que esteja mais quente que o produto. A autoclave irá aquecer a temperatura ligeiramente mais alta que a temperatura inicial do produto, abrindo a válvula do vapor de pré-aquecimento, injetando vapor na água do processo
<b>Fase de equalização</b>	Assim que a temperatura e a pressão chegam aos pontos definidos do pré-aquecimento e da pré-pressurização, a bomba começa a fazer a circulação de água pelo circuito
<b>Fase de aumento</b>	Quando a fase de equalização acaba começa a aquecer, através de injeção de vapor quente nas autoclaves
<b>Fase de pasteurização</b>	A temperatura, a pressão, o nível da água e a circulação mantêm-se constantes
<b>Fase de arrefecimento</b>	A autoclave usa arrefecimento indireto, ou seja, é feito através de um permutador de calor, arrefecendo a água à medida que vai passando pelo circuito de arrefecimento
<b>Micro arrefecimento</b>	A transição da pasteurização até ao arrefecimento completo é feita de uma maneira perfeitamente controlada, para evitar alteração súbita da temperatura ou pressão, que podem causar alterações nas embalagens usadas
<b>Arrefecimento completo</b>	Quando passa da fase crítica de transição, a válvula de arrefecimento é aberta completamente para arrefecer rapidamente o produto, de acordo com o programa da receita do produto. No final do arrefecimento a pressão baixa de acordo com o programa
<b>Fim do ciclo</b>	A água é bombeada da autoclave, verifica-se a pressão desapareceu, retirando qualquer pressão residual, de maneira a ser possível abrir a porta da autoclave.

### **III.2. Alta Pressão**

Após a produção de um sumo de tomate e hortelã feito a partir de concentrado que não alcançou as características pretendidas (demasiada consistência e ligeiramente queimado) e devido ao interesse em produtos mais frescos/naturais, a empresa pediu para pesquisar e testar alternativas aos tratamentos térmicos como a pasteurização em sumo de tomate, mantendo a estabilidade sem recurso à refrigeração.

Dentro da possibilidade de recursos e tempo existentes testou-se a alta pressão com recurso aos equipamentos da Plataforma de Tecnológica Multidisciplinar de Alta Pressão da Universidade de Aveiro, onde foram testadas diferentes condições de tratamento em sumo de tomate. Inicialmente testou-se com sumo produzido a partir de concentrado, mas como na produção de concentrado este já sofre um processo térmico para inativação de enzimas, uma evaporação e pasteurização, recorreu-se então a tomate fresco para produção de sumo, para comparar o sumo fresco com os que foram tratados pela tradicional pasteurização e pela alta pressão.

### **III.3. Desenvolvimento de Sopas**

Em paralelo, com o objetivo de diversificar a gama de produtos já comercializados e pelo interesse da empresa no desenvolvimento de novos produtos, foram desenvolvidas sopas não refrigeradas. Foram definidas as 5 sopas a desenvolver, que por motivos de confidencialidade pedida pela empresa são designadas em código: A, B, C, D e E.

#### III.4. Método preditivo de °Brix na diluição de diferentes concentrados

A escala de Brix tem vindo a ser usada na determinação da sacarose equivalente aos sólidos solúveis na indústria alimentar com a ajuda de refratómetros. Sendo que o teor de sólidos solúveis é expresso em % de sacarose ou % sólidos solúveis (%m/m) de solução. O refratómetro é normalmente calibrado usando soluções de sacarose com concentrações conhecidas.

Como já tinha sido referido anteriormente a maioria dos sólidos solúveis são frutose e glicose, para além dos outros sólidos presentes no tomate em menor quantidade, sabendo que o concentrado de tomate não apresenta apenas sacarose. Outros fatores como a temperatura, homogeneidade e a presença de ar na solução influenciam ligeiramente a leitura.

A presença de ácido cítrico é outro fator que afeta a leitura, pois o seu índice de refração cria valores de °Brix inferiores ao real. Por exemplo, numa solução de 30% de ácido cítrico a 20°C, tendo um índice de refração de 1,3744 correspondendo a 26°Brix, e numa solução de sacarose na mesma percentagem e à mesma temperatura, obtém-se um índice de refração de 1,3811, correspondendo como seria de esperar a 30°Brix.

Ao quantificar a acidez da solução é possível ajustar o °Brix em relação à concentração de ácido presente. Existem já tabelas corretivas (Tabela 17 em anexo) de ajuste consoante a concentração de ácido cítrico da solução, que são usadas principalmente na indústria de sumo de citrinos.

Apesar de todas estas variações já assinaladas, os sólidos insolúveis representam também uma fonte de erro, pois alguns sólidos insolúveis causam separação do sêrum em alguns concentrados, tendo que ser filtrados para obter uma leitura de °Brix mais correta.

## **Capítulo IV. Materiais e Métodos**

### **IV.1. Materiais e Métodos ensaios de Alta Pressão**

#### **Teste de resistência a embalagens**

Selecionaram-se diferentes embalagens, das passíveis de suportar alta pressão. Das embalagens selecionadas escolheram-se 2 tipos de embalagens plastificadas (PP e PET), e uma cartonada (Tetra Recart) para as testar. Colocaram-se as diferentes embalagens (as plastificadas e a cartonada) cheias em sacos individuais com água e selaram-se os sacos.

As embalagens foram sujeitas a dois ensaios, o primeiro a 450 MPa durante 3 minutos e outro a 550 MPa durante 1 minuto e meio. Avaliou-se o estado exterior da embalagem, e a integridade da selagem visual e fisicamente.

#### **Ensaio de Alta Pressão em Sumo de tomate fresco**

##### **Preparação do sumo de tomate e tratamentos**

###### **Primeiro ensaio:**

A partir de concentrado *Cold Break* com 36/38°Brix foi preparada uma diluição para um °Brix final de 5,5. Depois de se homogeneizar bem a solução transferiu-se para as embalagens de plástico PET, pois eram as que estavam a ser usadas no momento na linha do plástico, colocou-se a tampa e selou-se a embalagem. As embalagens de plástico PET foram transportadas num saco térmico com gelo para a máquina de alta pressão. Para cada tratamento usaram-se 5 embalagens, expostas a 450 MPa durante 3 minutos e outras 5 a 550 MPa durante 1,5 minutos.

Para a pasteurização térmica, o sumo foi feito de igual forma, mas após a diluição foi aquecido. Quando atingiu os 90°C foi transferido para frascos de vidro e procedeu-se à pasteurização na planta piloto. O processo de Pasteurização foi controlado com *loggers* para certificar que o sumo foi devidamente pasteurizado. Para comparação usou-se o sumo de tomate após a diluição para o controlo.

###### **Segundo ensaio:**

Devido à logística envolvida no transporte das amostras da fábrica de Benavente e a Plataforma de Tecnológica de Alta Pressão da Universidade de Aveiro e como o uso da embalagem está dependente do método de indução de selagem utilizado na fábrica, prepararam-se as amostras na Universidade de Aveiro e recorreram-se aos sacos de plástico usados para testes em HPP de modo a facilitar os ensaios.

Visto que no primeiro ensaio o sumo foi feito a partir de concentrado que já sofre processos térmicos para a sua produção, o que altera as características do produto, foi decidido fazer um segundo ensaio com tomate fresco comercial. Depois de se lavar o tomate e triturar na liquidificadora, deixou-se repousar, para eliminar a espuma que este processo provoca. Embalou-se e selou-se em sacos de plástico apropriados. Após confirmar que a selagem estava conforme o pretendido, colocaram-se as amostras na máquina de HPP e fizeram-se os seguintes ensaios:

- 450 MPa – 3 minutos
- 550 MPa – 1,5 minutos
- 600 MPa – 1 minuto

### **Terceiro ensaio**

Como os resultados do segundo ensaio não foram os esperados, devido à contaminação das amostras, repetiu-se o ensaio com algumas melhorias do processo. Começou-se por lavar o tomate, triturou-se e retiraram-se as peles e sementes com um coador. Depois de se distribuir o sumo pelos sacos, fez-se uma dupla selagem, que consistiu em selar um saco dentro de outro em vácuo para garantir a integridade do produto e procedeu-se ao tratamento:

- 600 MPa - 3 minutos
- 600 MPa - 6 minutos

### **Avaliação Microbiológica, Física e Organolética**

A avaliação foi feita no início, às 2 semanas e por último ao fim de um mês, tendo a conservação sido feita à temperatura ambiente.

## **- Métodos Microbiológicos**

### **Contagem de leveduras e bolores**

Introduziu-se 10 g de sumo de tomate num boião de vidro esterilizado, adicionou-se 90 g de diluente de uma solução de peptona e cloreto de sódio, previamente preparada, e homogeneizou-se a solução. De seguida procedeu-se ao ajuste do pH (7,0).

Da solução preparada distribuiu-se 0,5 mL por cada placa Petri já identificada. Colocou-se 20 mL de meio O.G.Y.E Agar (Oxytetracycline) já preparado. Após solidificação do meio inverteram-se as placas para incubar durante 5 dias à temperatura ambiente. Após os 5 dias procedeu-se à contagem de colónias.

### **Contagem total de bactérias**

A partir da solução preparada anteriormente de peptona e cloreto de sódio e da amostra de sumo de tomate, colocou-se 10 mL nas placas de Petri e depois uma diluição da mesma solução de  $10^{-1}$  nas placas de Petri já identificadas e de seguida espalhou-se o meio PCA. Após a solidificação do meio, as placas foram a incubar a 30°C durante 3 dias, procedendo-se de seguida à sua contagem.

### **Existência de *Lactobacillus* spp**

A amostra de sumo de tomate foi colocada 24 horas em meio de enriquecimento a 30°C, deixou-se arrefecer até à temperatura ambiente e fez-se o espalhamento em meio MRS e incubou-se durante 5 dias a 30°C.

Controlou-se a presença/ausência de colónias brancas circulares na zona de inoculação. Em caso de aparecimento de colónias suspeitas, transferiram-se as colónias para duas lâminas de vidro, com auxílio de um inoculador e verificou-se se possuíam enzima catalase, por adição de água oxigenada sobre as colónias. Para a outra lâmina procedeu-se à coloração de Gram.

### **Coloração de Gram**

Espalhou-se uma camada fina da cultura a examinar, numa lâmina. Secou-se a cultura, adicionou-se solução de Violeta de Metilo à lâmina e deixou-se tingir durante 30 segundos. Retirou-se o excesso de corante, lavou-se com a solução de Lugol e deixou-se atuar durante 1 minuto, lavando de seguida com álcool até a cultura ficar incolor. Voltou a



lavar-se com água e inundou-se com uma solução de Safranina. 2 minutos depois, procedeu-se à lavagem da face inferior da lâmina, secou-se e examinou-se ao microscópio, quantificaram-se as bactérias Gram e procedeu-se à classificação segundo a Tabela 5. O crescimento deverá ser nulo entre a amostra inicial e a amostra ao fim de 24 horas. Para a lâmina inicial só se procede até à adição de Violeta de Metilo, depois dos 30 segundos lavou-se com água.

**Tabela 5 - Tabela classificativa**

Grau de Classificação	
I	0-10
II	11-25
II	26-50
IV	+50

### **Métodos de avaliação física, química e organolética**

Para todos os produtos foram sempre avaliados os mesmos parâmetros: °Brix, acidez, pH, % sal, cor e consistência (Bostwick).

O °Brix foi quantificado através de um refratómetro, neste caso um refratómetro de bolso ATAGO PAL-1, que faz a leitura do índice refratométrico, sendo expresso em % sólidos solúveis em °Brix.

Para quantificar a acidez, que pode ser acidez cítrica, acética ou láctica, dependendo do produto, primeiro pesou-se 6 g de amostra e dilui-se em 100 mL de água destilada, depois com agitação foi feita uma titulação com NaOH 0,1M, até 8,20 de pH e através da Tabela 16 (ver em anexo) relacionou-se o valor de volume gasto com a acidez do produto, expressando-se o valor em % de ácido cítrico.

Para quantificar o pH, utilizou-se um potenciómetro (HANNA Edge) com agitação e esperou-se até estabilizar.

Para determinar a percentagem de cloretos, diluiu-se 10 g de amostra em 190 mL de água destilada, filtrou-se o preparado e do diluído pipetou-se 20 mL para um frasco. Através do método de Mohr, titulou-se a solução pipetada com nitrato de prata a 0,05 N, que na presença de cromato de potássio (indicador 6 a 10 gotas) no ponto final da titulação

faz precipitar o cromato de prata passando a solução de amarelo a vermelho/alaranjado permanente. Verificou-se a quantidade de nitrato de prata gasto e aferiu-se a % de sal pela Tabela 15 (em anexo).

A cor foi determinada num espectrofotómetro (HunterLab, LabScan XE). Dando valores de  $L_H$  (luminosidade),  $a_H$  (vermelho/verde),  $b_H$  (amarelo/azul) e  $a/b$  (rácio de cor).

A avaliação da consistência foi feita a partir de um consistómetro de Bostwick: este é usado na determinação da consistência do produto, avaliando a distância percorrida ao longo de uma superfície nivelada graduada em centímetros aos 10 e 30 segundos. A consistência do produto (cm) é o ponto mais distante registado após os 10 e 30 segundos.

Procedeu-se à avaliação organolética que consistiu em avaliar o aroma, textura e aspeto geral de modo a verificar quaisquer alterações entre os diferentes tratamentos ou métodos de produção.

#### **IV.2. Materiais e Métodos da Formulação de sopas**

Depois de se pesquisar as sopas já disponíveis no mercado, desde sopas refrigeradas, sopas em pó e sopas prontas a comer, transcreveu-se a lista de ingredientes e a tabela nutricional de cada uma. Seleccionadas as sopas a desenvolver, foram pedidas amostras a vários fornecedores de diferentes ingredientes para cada receita, a fim de avaliar quais os que possuíam melhores características dentro do que tinha sido delineado. Ao longo de várias formulações foi-se aprimorando e chegando mais perto do sabor pretendido. Com vários ingredientes diferentes e possibilidades de diferentes variações em quantidades, o processo tornou-se demorado e exaustivo. A partir daí foram-se reformulando as receitas para criar o melhor balanço entre sabor, aroma, valor nutricional e estabilidade, tudo produzido a uma escala laboratorial, usando as *bimbys* (robô de cozinha) para esse efeito.

Após várias formulações e várias análises, apenas quatro das cinco sopas foram seleccionadas para continuação do processo na planta piloto. A sopa D não atingiu uma formulação satisfatória porque os aromas e ingredientes testados não apresentavam as características organoléticas pretendidas.

Através das análises feitas e das características de cada sopa, principalmente o pH delineou-se o processo térmico que foi otimizado, à exceção da sopa A que apenas necessita pasteurização devido ao seu pH as restantes sopas requerem um processo de esterilização. O processo de otimização foi feito com *loggers* (Figura 9) da ValSuite (Ellab) que depois do processo passam as leituras da temperatura exterior e interior da embalagem para o computador, para validar ou não o processo.

Entretanto na planta piloto começaram-se a produzir maiores quantidades de sopas para provas e para testes microbiológicos, já nas devidas embalagens e com o processo adequado. Este passo é importante, para verificar se a exposição a diferentes temperaturas e duração de esterilização irá afetar o produto final, ajudando também na otimização do processo térmico para cada sopa, visto que a viscosidade e quantidade de líquido/sólido afetam a transferência de calor.



**Figura 9 - Loggers**

#### **- Desenho do processo**

Primeiro diluíram-se os ingredientes em maior quantidade quer sejam eles os principais legumes ou bases da sopa. Depois de bem misturados, introduziram-se os restantes ingredientes (especiarias, ingredientes em pó ou em pedaços), voltou-se a misturar, por último adicionou-se o amido previamente diluído e a restante água. Sendo que o amido deve chegar a pelo menos 70°C para que a gelatinização ocorra definiu-se o processo para 75°C durante 10 minutos. Nas sopas com pedaços desidratados onde estes necessitam também de temperatura para ajudar a reidratarem optou-se por aquecer a sopa até aos 90°C durante 10 minutos. Decorridos os 10 minutos enchiam-se as embalagens, selavam-se e seguiam para o processo térmico

#### **- Otimização do processo de esterilização**

O processo de otimização de esterilização foi feito numa autoclave à escala da planta piloto. Para todas as sopas exceto a sopa A foi necessário garantir a esterilização comercial do produto. Começou-se por utilizar a sopa mais com viscosidade, por ser a que mais dificulta a transferência de calor. Devido ao binómio tempo-temperatura e também à

degradação do alimento é importante encontrar o ponto ideal, de modo a garantir a esterilização e simultaneamente manter as características chave do produto. Para chegar a este ponto foi necessário testar e avaliar os diferentes produtos, assim como controlar os diferentes processos térmicos e encontrar o que melhor se adequa.

#### **IV.3. Materiais e Métodos do Método preditivo de °Brix na diluição de diferentes concentrados**

##### **Primeiro ensaio – CB 28-30**

Primeiro começou-se por apurar a diferença entre os valores de sólidos solúveis visualizados no refratómetro e os valores teóricos, calculados a partir do concentrado original.

Fizeram-se diluições de 10% a 90% do concentrado inicial e no refratómetro (RFM300+, Bellingham+Stanley) procedeu-se à leitura direta do concentrado. Após a leitura calculou-se a diferença entre o teórico e o obtido.

##### **Segundo ensaio – CB 36-38**

Para obter uma mistura mais homogénea das diluições, depois de pesar o concentrado e a água num saco, misturou-se numa misturadora (Masticator Mixer) e procedeu-se à leitura do °Brix no refratómetro.

Devido às características do concentrado fez-se um novo ensaio, mas antes da análise do concentrado, filtrou-se numa espécie de tecido gaze, descartando as 3 primeiras gotas filtradas. Este é o método padrão da empresa para concentrados CB.

##### **Terceiro ensaio – CB 28-30**

Visto o índice refratométrico do ácido cítrico ser inferior ao da sacarose, no terceiro ensaio quantificou-se a acidez e aplicou-se o valor corretivo, existente em tabelas de correção do °Brix de indústrias de sumo de laranja, às diluições.

Para um estudo mais coerente procedeu-se à centrifugação de todas as diluições, durante 10 a 15 minutos a 10000 rpm/min, de maneira a conseguir fazer uma separação da fase líquida e obter uma leitura mais precisa. Registrando também o valor do °Brix pelo

método direto e filtrado para comparação do valor. Para cada diluição o valor registado foi a média dos 3 valores visualizados, após estes se encontrarem estáveis no refratómetro. Depois da leitura do °Brix, mediu-se a acidez do concentrado, de cada diluição e do sobrenadante para posterior ajuste do valor de °Brix. Aplicou-se o mesmo método para o concentrado HB.

## Capítulo V. Resultados e Discussão

### V.1. Alta Pressão

#### Teste de resistência a embalagens

De todas as embalagens testadas a que provou ser mais resistente foi a de plástico PP, não se verificando dano nenhum aparente. Já as embalagens PET sofreram rutura da selagem, rompendo o selo por baixo da tampa. A embalagem cartonada da Tetra recart, apesar da sua aparente fragilidade resistiu ao processo, mas a camada mais exterior da embalagem, onde fica o desenho, ficou danificada e a embalagem ficou ligeiramente deformada, com algumas irregularidades e mais maleável.

#### Ensaio de alta pressão em sumo de tomate

No primeiro ensaio, nos testes às amostras iniciais nas embalagens PET obtiveram-se resultados bastante variados, como se pode ver na Tabela 6, pois as embalagens não resistiram ao tratamento de alta pressão. Apenas as amostras pasteurizadas passaram os testes microbiológicos como era expectável. Apesar de o selo quebrar nas embalagens PET é possível verificar uma redução microbiológica significativa se compararmos com a amostra de controlo, demonstrando que a alta pressão é capaz de reduzir a carga microbiológica.

**Tabela 6 - Resultados microbiológicos 1.º Ensaio**

Data Produção	Código Produto	Produto										Observações
			Lactobacillus spp.	Fungos (Leveduras e bolores)				Contagem Total bactérias aeróbias				
				0,3ml	0,3ml	0,3ml	ufc/g	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	ufc/g	
			Negativo	Negativo				Máx 1000 ufc/g				
08/10/2015	controlo	Sumo tomate concentrado	-	14lev	14lev	-	280	2	2		220	
08/10/2015	controlo	Sumo tomate concentrado	+	18lev	21lev 1bol	-	400	5	2		250	
12/10/2015	pasteurizado	Sumo tomate concentrado	-	-	-	-	-	-	-			
08/10/2015	450	Sumo tomate concentrado	+	0	2	-	20	10	0		100	
08/10/2015	450	Sumo tomate concentrado	-	7	0	-	70	1	0		10	
08/10/2015	450	Sumo tomate concentrado	-	8	7	-	150	5	0		50	
08/10/2015	550	Sumo tomate concentrado	-	3	2	-	50	3	0		30	
08/10/2015	550	Sumo tomate concentrado	-	2	2	-	40	2	0		20	
08/10/2015	550	Sumo tomate concentrado	-	4	1	-	50	5	Inc.		Inc.	

No segundo ensaio, como se pode ver na Tabela 7, todas as amostras permaneceram contaminadas. Comparando com o controlo constatamos alguma redução microbiana 3 dias após o processo e mesmo após 2 semanas no tratamento a 450 MPa e a 600 MPa, mas apresentando já aroma a azedo.

Apesar de a literatura dizer que o tratamento HPP era suficiente para inativar todo o tipo de microrganismos presentes, a contaminação deveu-se ao tempo de exposição e ao ambiente onde foi preparado o sumo, criando assim uma carga microbiana elevada e dificultando o tratamento. Ainda assim e visto que numa realidade industrial o tomate passa por condições adversas, é importante ter um tratamento adequado para as mais variadas condições.

**Tabela 7 - Resultados microbiológicos 2.º Ensaio**

Data Análise	Data Produção	Código Produto	Produto	Coloração Gram					Aspecto após 5 dias incubação 30°C	Lactobacillus spp.	Fungos (Leveduras e bolores)				Contagem Total bactérias aeróbias				Observações
				Lâmina Inicial		Lâmina após 24h													
Limite				Grau	bast/lev	Grau	bast/lev		Negativo	Negativo				Máx 1000 ufc/g					
21/04/2016	18/04/2016	Controlo	Sumo de Tomate Fresco	IV	+50	IV	+50	+	+	10lev	10lev	12lev	320	Inc.	Inc.		Inc.	Amostra do boião fermentada com cheiro azedo	
21/04/2016	18/04/2016	450 3'	Sumo de Tomate Fresco	I	1 bast	IV	+50	+	+	-	-	1lev	10	Inc.	Inc.		Inc.	Bast. Grandes, pequenos e cordões de cocos	
21/04/2016	18/04/2016	550 1,5'	Sumo de Tomate Fresco	I	1 bast	IV	+50	+	+	-	2lev	1lev	30	0	0		0	Bast. Pequenos./ Amostra do boião fermentada com cheiro a azedo	
21/04/2016	18/04/2016	600 1'	Sumo de Tomate Fresco	I	3 bast	IV	+50	+	+	-	-	-	-	121	21		3310	Bast. Pequenos e 1 cordão de cocos	
02/05/2016	18/04/2016	450 3'	Sumo de Tomate Fresco	II	13 bast	II	14 bast	-	-	-	-	1 bol		1	-		10	Cheiro a azedo	
02/05/2016	18/04/2016	550 1,5'	Sumo de Tomate Fresco	IV	>50 bast	IV	<50 bast 15	+	+	21	17	28	660	Inc.	inc.		inc.	Cheiro a azedo	
02/05/2016	18/04/2016	600 1'	Sumo de Tomate Fresco	II	11 bast	IV	<50 bast 2lev	-	-	-	-	-	-	3	-		30	Cheiro a azedo	

As amostras que restaram para proceder à avaliação microbiológica ao longo do tempo já mostravam sinais de contaminação, com bolores e colónias amarelas à vista, e as sementes presentes no sumo foram escurecendo e desfazendo-se.

No terceiro ensaio, fez-se uma alteração, retirando-se as peles e sementes, também para dar uma melhor aparência e ter uma melhor leitura de cor, visto que as sementes foram escurecendo ao longo do tempo conferindo um mau aspeto. Como se pode ver na

Tabela 8, um processo de 600 MPa durante 3 minutos já foi suficiente para ter amostras livres de contaminações no geral, apresentando apenas alguns bastonetes na lâmina inicial. Uma das alterações que ocorreram foi a separação do sêrum, tanto no ensaio 2 como no 3, visto não ser homogeneizado.

**Tabela 8 - Resultados microbiológicos 3.º Ensaio**

Data Análise	Data Produção	Código Produto	Produto	Coloração Gram															Observações
				Lâmina Inicial		Lâmina após 24h		Aspecto após 5 dias incubação 30°C	Lactobacillus spp.	Fungos (Leveduras e bolores)				Contagem Total bactérias aeróbias					
										0,3ml	0,3ml	0,3ml	ufc/g	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	ufc/g		
Limite				Grau	bast/lev	Grau	bast/lev		Negativo	Negativo				Máx 1000 ufc/g					
10/05/2016	05/05/2016	600 3'	Sumo de Tomate Fresco	I	3 bast	I	0 bast	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
10/05/2016	05/05/2016	600 6'	Sumo de Tomate Fresco	I	1 bast	I	0 bast	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
19/05/2016	05/05/2016	600 3'	Sumo de Tomate Fresco	I	5 bast	I	2 bast	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
19/05/2016	05/05/2016	600 6'	Sumo de Tomate Fresco	I	2 bast	I	0 bast	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
08/06/2016	05/05/2016	600 3'	Sumo de Tomate Fresco	I	6 bast	I	2 bast	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
08/06/2016	05/05/2016	600 6'	Sumo de Tomate Fresco	I	4 bast	I	0 bast	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		

Apesar de alguns autores referirem que a concentração de n-hexanal aumenta com tratamentos mais severos não se verificou o aroma a ranço no sumo produzido, sendo provavelmente explicada pela redução da atividade da lipoxigenase durante o processo de alta pressão como Shook et al. (2005) comprovam no seu estudo.

As diferenças aparentes entre os dois tratamentos verificaram-se na diferença na viscosidade (Bostwick), possivelmente explicada pela presença e inativação da PME e da PG, alterando a viscosidade final e perdendo alguma cor ao longo do tempo, como se pode ver na Tabela 9. Em termos de avaliação organolética ela manteve-se praticamente inalterada, apenas em termos de aspeto as sementes que passaram na filtragem foram escurecendo. Quanto ao aroma e textura manteve as características iniciais, conservando o seu aroma característico. Como as condições do tratamento não eram as mesmas que as presentes na fábrica o sumo de tomate pasteurizado que serviu de controlo não ficou devidamente processado, não sendo possível criar vácuo e tornando as amostras suscetíveis à propagação microbiana. Ao avaliar o controlo estes já se encontravam opacos e inválidos para comparação de resultados.



**Tabela 9 - Resultados da Análise Físico-química**

	<b>600MPa 3'</b>			<b>600MPa 6'</b>		
	4 dia	15 dia	28 dia	4 dia	15 dias	28 dias
<b>°Brix</b>	5.4	5.6	5.4	5.4	5.4	5.4
<b>Acidez</b>	0.44	0.51	0.51	0.44	0.53	0.47
<b>pH</b>	4.15	4.13	4.10	4.10	4.09	4.06
<b>Sal</b>	0.15	0.15	0.12	0.15	0.12	0.12
<b>Bostwick</b>	+23.5	+23.5	+23.5	19.0/19.3	15.0/15.5	18.2/18.5
<b>Cor: Lh</b>	27.68	27.25	27.15-	29.16	28.10	27.59
<b>ah</b>	18.25	17.25	17.15	20.73	19.17	16.73
<b>bh</b>	11.89	12.26	11.83	13.17	12.95	13.13
<b>a/b</b>	1.53	1.41	1.37	1.57	1.48	1.27

## V.2. Desenvolvimento de sopas

Foram criadas 28 formulações diferentes da sopa C, 17 da sopa A, 8 da sopa E, 7 da sopa B e 12 da sopa D, apenas a sopa D excluída por não se chegar às características organolépticas desejadas. Todas as outras sopas foram aprovadas para testes e análises e seguiram para os testes microbiológicos.

Testados diferentes processos, os que melhor se adequaram em termos de capacidade de aquecimento e tempo, foram aqueles em que se manteve a temperatura a 110°C durante 30 minutos e 115°C durante 10 minutos. Esta variação no processo depende das características físicas, como a consistência e a viscosidade, e da penetração do calor de cada sopa.

Embora o resultado não seja o final, pois ainda podem ocorrer algumas melhorias e variações ajudando a ter um processo mais simples e evitando o uso de produtos que possam aumentar os custos, ficou delineada a base de ingredientes de cada sopa e o perfil sensorial final indicado, assim como o processo térmico que melhor se adequa a cada sopa.

Estando os testes microbiológicos conforme os padrões de qualidade, as sopas validadas irão para as provas com painel de provadores para avaliação. Depois de todas as receitas aprovadas, o passo seguinte será testar à escala industrial, sendo possivelmente

necessário mais otimizações devido à diferença de escala e das limitações impostas industrialmente, que reduzem a velocidade do processo.

### V.3. Método preditivo de °Brix na diluição de diferentes concentrados

#### CB 28-30 (29.8) Direto

Como se pode ver pelos desvios apresentados na Tabela 10, os resultados da diluição apresentaram um valor ligeiramente inferior ao valor teórico. No entanto, a partir da diluição com 70% de concentrado a tendência do desvio inverte. Não havendo explicação óbvia, sabe-se apenas que quanto mais concentrada a solução maior o erro esperado. Como se pode ver pela Figura 10, a tendência assim como a linearidade que se mantinha até aos 70%, passado este valor, altera-se, passando a ser superior ao teórico nos 90%. Esta variação pode acontecer devido à concentração do concentrado de tomate que dificulta a sua leitura.

**Tabela 10 - Valores °Brix teórico e real para diferentes diluições de concentrado CB 28-30**

% Concentrado	°Brix teórico	°Brix real	Desvio
10	3.0	2.7	-0.3
20	6.0	5.6	-0.4
30	8.9	8.5	-0.4
40	11.9	11.4	-0.5
50	14.9	14.3	-0.6
60	17.9	17.3	-0.6
70	20.9	20.2	-0.7
80	23.8	23.5	-0.3
90	26.8	26.9	+0.1

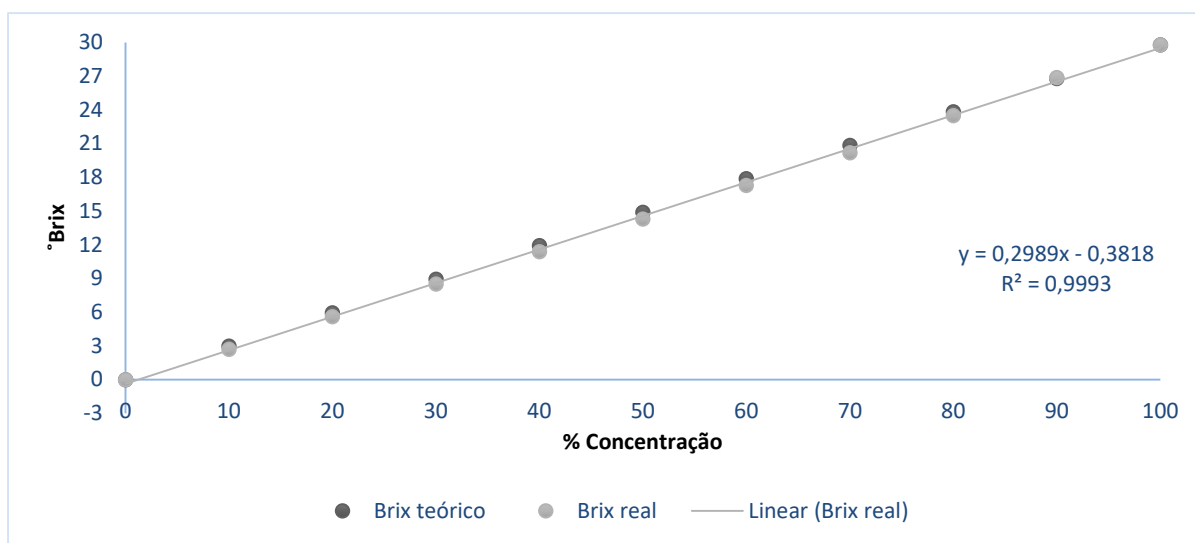


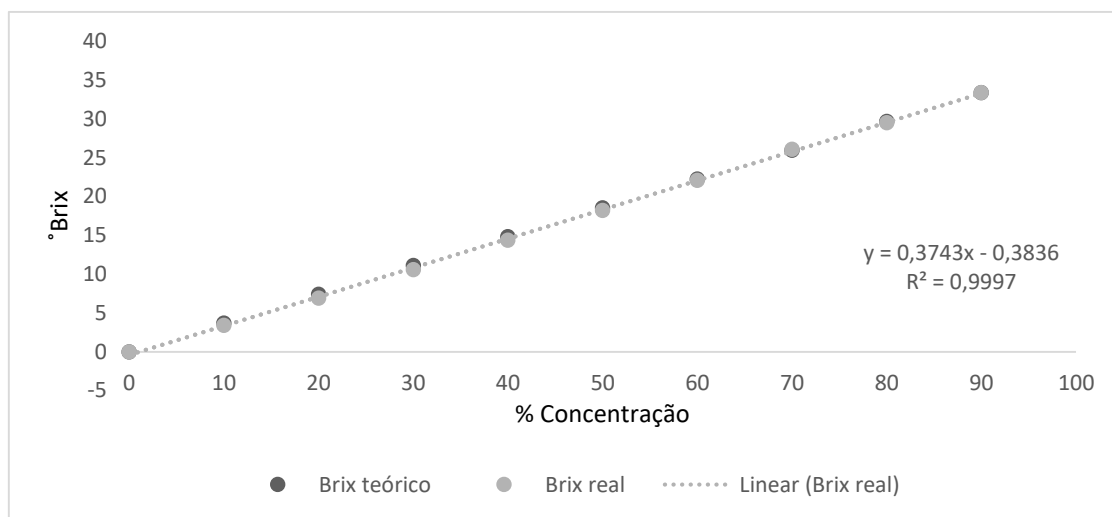
Figura 10 - Comparação da variação de °Brix de diferentes diluições de concentrado CB 28-30

### CB 36-38 Direto (37.1°Brix) e Tela (36.5°Brix)

Em relação ao concentrado *cold break* 36-38, apesar de o método da tela (Figura 12) apresentar uma linearidade mais perto de 1 comparando com o método direto (Figura 11), ambos apresentam, em relação aos desvios, valores que não seguem a tendência, sendo mais variáveis a partir dos 70% entre os 25 e 26°Brix (Tabela 11 e Tabela 12).

Tabela 11 - Valores °Brix teórico e real para diferentes diluições de concentrado CB 36-38

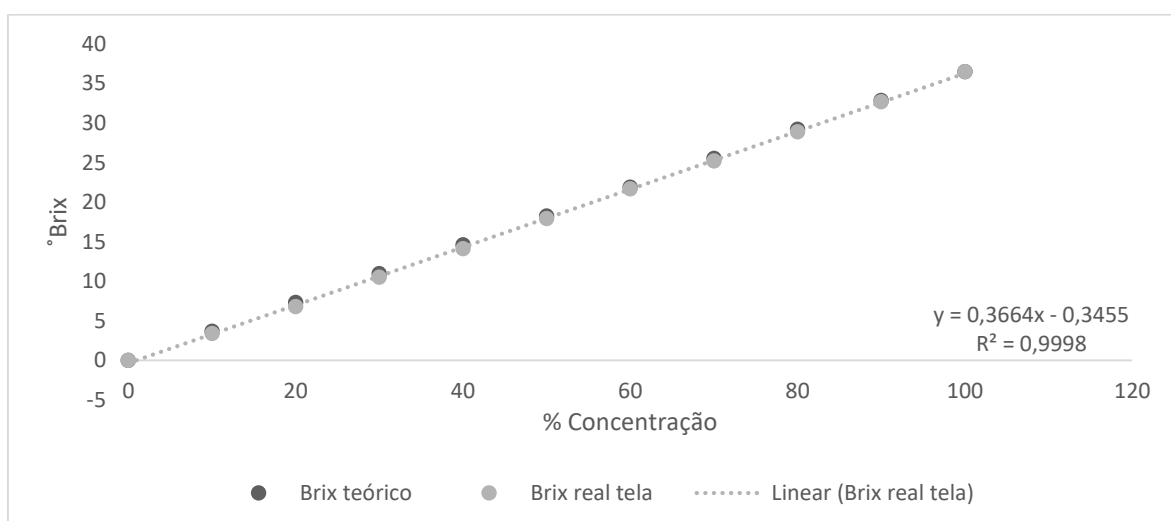
% Concentrado	°Brix teórico	°Brix real	Desvio
10	3,7	3,4	-0,3
20	7,4	6,9	-0,5
30	11,1	10,6	-0,5
40	14,8	14,4	-0,4
50	18,6	18,2	-0,4
60	22,3	22,1	-0,2
70	26,0	26,1	+0,1
80	29,7	29,5	-0,2
90	33,4	33,4	0



**Figura 11 - Comparação da variação de °Brix de diferentes diluições de concentrado CB 36-38 Direto**

**Tabela 12 - Valores °Brix teórico e real para diferentes diluições de concentrado CB 36-38**

% Concentrado	°Brix teórico	°Brix real	Desvio
10	3,7	3,4	-0,3
20	7,3	6,8	-0,5
30	11,0	10,5	-0,5
40	14,6	14,1	-0,5
50	18,3	17,9	-0,4
60	21,9	21,7	-0,2
70	25,6	25,2	-0,4
80	29,2	28,9	-0,3
90	32,9	32,7	-0,2



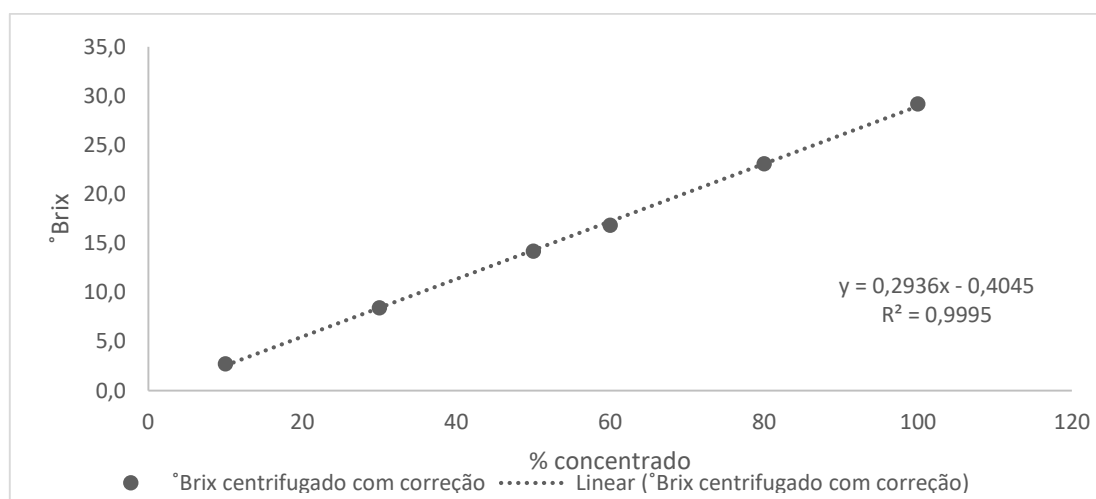
**Figura 12 - Comparação da variação de °Brix de diferentes diluições de concentrado CB 36-38 Tela**

## CB 28-30

Como se pode constatar pelos valores de °Brix do método direto (Tabela 13), o valor do concentrado original nem se encontra dentro do previsto, ultrapassando por 1,2°Brix o máximo, isto devido à presença dos sólidos insolúveis. Entre o valor do concentrado original filtrado e o centrifugado existe uma diferença de 0,4°Brix, sendo o centrifugado uma solução mais límpida ao passo que o filtrado apresenta mais partículas em suspensão. Através da comparação da linearidade do método do concentrado centrifugado com correção da acidez (Figura 13), consegue-se verificar uma linearidade mais perto de 1 comparando com o método direto da Figura 11.

**Tabela 13 - Valores °Brix para diferentes diluições de concentrado CB 28-30**

% Concentrado	Teórico	Direto	Centrifugado	Centrifugado com correção	Desvio	Filtrado
10	2,9	2,8	2,7	2,7	-0,2	
30	8,6	8,5	8,3	8,4	-0,2	
50	14,4	14,5	14	14,2	-0,2	
60	17,3	17,7	16,6	16,8	-0,5	
80	23,0	24,0	22,8	23,1	0,1	
100		31,2	28,8	29,2		29,2



**Figura 13 - Variação de °Brix com correção de diferentes diluições de concentrado CB 28-30 Centrifugado com correção**

Na maioria dos desvios, um ponto de viragem para os concentrados CB 28-30 e 36-38 começa quando o Brix ultrapassa os 20°Brix. Estando à partida todas as amostras bem homogêneas, estas deveriam manter-se constante ao longo das diluições.

Fatores, como a presença de compostos com índice de refração diferente do da sacarose e fatores externos e de homogeneização que não foram quantificados, poderão ser responsáveis por esta situação, que deverá ser estudada mais apropriadamente no futuro.

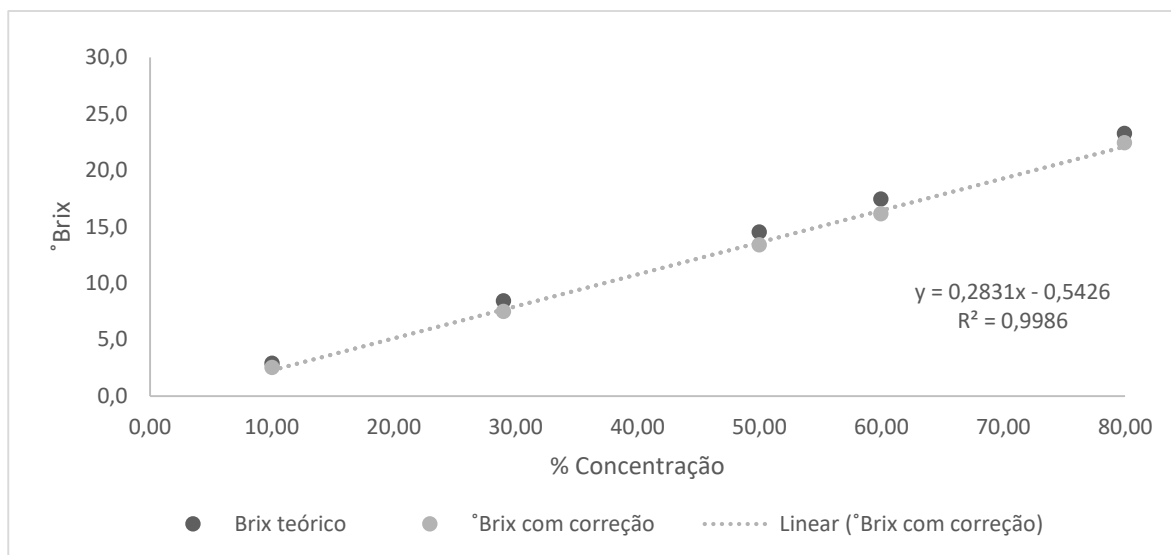
### **HB 28-30**

O concentrado HB é o que mais limitações causa, uma vez que é mais difícil conseguir uma amostra sem partículas em suspensão mesmo após a centrifugação, causando um erro maior. O melhor método consiste no método direto, uma vez que nem sempre é possível conseguir alguma separação com a centrifugação. Como os concentrados de tomate HB mantiveram as pectinas devido ao processo de inativação enzimática, retiveram também água dificultando a extração de sobrenadante, principalmente nas amostras mais concentradas.

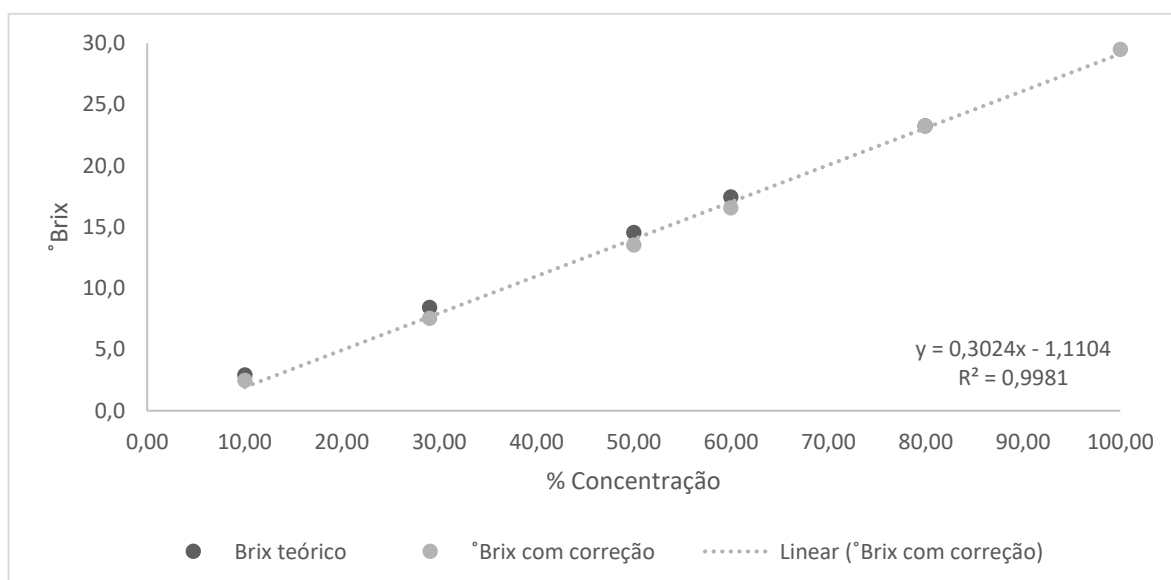
Olhando para a Tabela 14 e para a Figura 14 e Figura 15 é possível observar uma maior linearidade no centrifugado, mas não foi possível retirar qualquer sobrenadante da amostra de concentrado no seu estado original. Em relação à variação nos desvios, constatou-se uma maior variação de valores no método centrifugado do que no método direto.

**Tabela 14 - Valores °Brix para diferentes diluições de concentrado HB 28-30**

<b>% Concentrado</b>	<b>Teórico</b>	<b>Direto</b>	<b>Direto com correção</b>	<b>Desvio</b>	<b>Centrifugado</b>	<b>Centrifugado com correção</b>	<b>Desvio</b>
<b>10</b>	2,9	2,4	2,5	-0,4	2,5	2,6	-0,3
<b>29</b>	8,2	7,4	7,5	-0,7	7,4	7,5	-0,7
<b>50</b>	14,5	13,3	13,5	-1	13,2	13,4	-1,1
<b>60</b>	17,4	16,3	16,6	-0,8	15,9	16,2	-1,2
<b>80</b>	23,2	22,9	23,2	0	22,1	22,4	-0,8
<b>100</b>		29,1	29,5		-	-	



**Figura 14 - Variação de °Brix Centrifugado com correção de diferentes diluições de concentrado HB 28-30**



**Figura 15 - Variação de °Brix Direto com correção de diferentes diluições de concentrado HB 28-30**

No geral constata-se que o desvio em diluições com concentrado HB é superior ao concentrado CB, sendo que os valores de referência obtidos ajudam a prever o °Brix provável em diluições futuras.

Este estudo acabou por ser uma investigação para obter uma melhor leitura, pois tentou-se chegar ao valor real de sólidos solúveis, sendo que para obter um método preditivo parte-se do °Brix do concentrado inicial, que apesar de perto do real não é o correto, afetando depois as subseqüentes diluições e leituras. Em muitas indústrias é possível ter um valor mais correto, visto trabalharem com produtos menos ricos e com menos constituintes. Uma das indústrias que mais usa este método é a de sumo de citrinos,

especialmente de laranja, que consoante a presença de sólidos insolúveis e ácido cítrico tem tabelas corretivas para ajustar o °Brix. Apesar de não se chegar a um método preditivo e ser necessário realizar mais estudos ou utilizar diferentes métodos de análise, o estudo permitiu perceber onde se encontram alguns dos desvios e quais os melhores métodos para cada concentrado, assim como identificar alguns padrões nas diluições de cada um deles.

Atualmente já existem métodos FT-IR, *mid-infrared* (MIR), que nos permitem obter vários valores dos constituintes presentes e fornecer uma estimativa dos sólidos solúveis. Apesar de este método MIR ser muitas vezes calibrado a partir dos métodos já usados, apesar da margem de incerteza constitui uma boa opção para aferir o valor real do °Brix.



## Capítulo VI. Conclusão

Ao longo deste estágio foi possível acompanhar a implementação de uma nova linha de produção de tomate pelado inteiro com sumo de tomate. Apesar das dificuldades e por causa delas foi possível aprender a lidar com adversidades. Ao colaborar com a equipa ao longo do processo foi possível passar, atualmente, à fase de produção.

Em relação à produção de um sumo de tomate com características superiores através da aplicação da Tecnologia de Alta Pressão foi possível conceber um produto com as características desejadas na qualidade e segurança microbiológica. É de notar que deveria ser desenvolvida uma embalagem mais resistente ao processo para garantir a segurança do produto.

Grande parte deste estágio consistiu no desenvolvimento das sopas e em todo o processo à sua volta, sendo possível desenvolver 4 sopas e realizar toda a otimização do processo térmico. Apesar de não se concluir todas as validações ou testes, conseguiu-se chegar a 4 formulações com potencial comercial que foi o principal objetivo deste desenvolvimento, através da criação de diferentes formulações ao longo deste exaustivo processo.

Outro grande desafio foi tentar criar um método preditivo de °Brix na diluição de diferentes concentrados. Apesar de se ter conseguido ver alguns desvios nos resultados obtidos, são necessários mais estudos com um maior número de amostras para se conseguir chegar a um método eficaz de previsão de °Brix, pois, embora os resultados não sejam suficientemente conclusivos já foram dados importantes para os cálculos levados a cabo diariamente na empresa, e demonstram também que através de diferentes métodos é possível obter melhores leituras consoante o tipo de concentrado.

Todo este estágio gerou grandes oportunidades de envolvimento em diversas áreas possibilitando uma aprendizagem imensa nesta indústria que não para de evoluir.

## **Capítulo VII.      Perspetivas futuras**

Da experiência ganha ao longo do estágio é possível destacar alguns pontos para perspectivas futuras. Em primeiro lugar, em relação às dificuldades encontradas na implementação da nova linha da Tetra recart, os problemas que ocorreram promoveram um melhor planeamento e mais atenção ao detalhe permitindo um maior rendimento e desempenho e originando melhores resultados.

Em relação à alta pressão, os resultados corresponderam aos requisitos definidos pela empresa tornando apelativa esta tecnologia ao adicionar valor ao produto pelas características mantidas. As novas embalagens da Tetra recart resistiram ao processo de alta pressão possibilitando a criação de embalagens do mesmo tipo com alguns melhoramentos que consigam manter as características organoléticas do produto e mantê-lo seguro e estável em prateleira.

Já as sopas desenvolvidas precisam de ser testadas microbiologicamente e o processo térmico validado, assim como averiguada a estabilidade e validade das mesmas.

Quanto ao método preditivo para diluições de diferentes concentrados de tomate, torna-se necessário arranjar métodos mais viáveis e precisos para se poder chegar a um método preditivo fiel e verdadeiro, assim como testar um maior número de amostras e, consequentemente, obter um número mais abrangente de dados.

## **Referências Bibliográficas**

- Abushita, A. A., Daood, H. G., & Biacs, P. A. (2000). Change in carotenoids and antioxidant vitamins in tomato as a function of varietal and technological factors. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 2075–2081.
- Aguilera, J. M., & Stanley, D. W. (1999). *Microstructural principles of food processing and engineering*. Springer Science & Business Media.
- Aguilera, J. M., Chiralt, A., & Fito, P. (2003a). Food dehydration and product structure. *Trends in Food Science & Technology*, 14(10), 432–437.
- Aguilera, J.M., Chiralt, A., & Fito P. (2003b), Process, Structure and Functionality, Special Issue on the International Conference Iberdesh 2002, *Food Science & Technology International*, 9, 135.
- Ahmed, J., Ramaswamy, H. S., & Hiremath, N. (2005). The effect of high pressure treatment on rheological characteristics and colour of mango pulp. *International Journal of Food Science and Technology*, 40, 885–895.
- Anthon, G. E., Blot, L., & Barrett, D. M. (2005). Improved firmness in calcified diced tomatoes by temperature activation of pectin methylesterase. *Journal of Food Science*, 70(5), C342–C347.
- Balasubramaniam, V. M., & Farkas, D. (2008). High-pressure food processing. *Food Science and Technology International*, 14(5), 413–418.
- Balasubramaniam, V. M., Martínez-Monteaudo, S. I., & Gupta, R. (2015). Principles and application of high pressure-based technologies in the food industry. *Annual Review of Food Science and Technology*, 6, 435–462.
- Balasubramaniam, V. M., Ting, E. Y., Stewart, C. M., & Robbins, J. A. (2004). Recommended laboratory practices for conducting high-pressure microbial inactivation experiments. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 5(3), 299–306.
- Balda, F. P., Aparicio, B. V., & Samson, C. T. (2012). Industrial high pressure processing of foods: Review of evolution and emerging trends. *Journal of Food Science and Engineering*, 2(10), 543.
- Barba, F. J., Esteve, M. J., & Frigola, A. (2012). Impact of high-pressure processing on vitamin E ( $\alpha$ -,  $\gamma$ -, and  $\delta$ -tocopherol), vitamin D (cholecalciferol and ergocalciferol), and fatty acid profiles in liquid foods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(14), 3763–3768.
- Barbosa-Cánovas, G. V., Juliano, P., & Keener, L. (2005). Legislative issues with respect to processed food. *Global Harmonization of Legislation of Food Products and Processes*, 27–3.
- Barringer, S. A. (2004). *Vegetables: tomato processing* (pp. 273–291). Blackwell Publishing, Ltd.: Oxford, UK.
- Black, E. P., Setlow, P., Hocking, A. D., Stewart, C. M., Kelly, A. L., & Hoover, D. G. (2007). Response of Spores to High-Pressure Processing. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 6(4), 103–119.

Brown, K. (1920). The Manufacture of Phenol in a Continuous High Pressure Autoclave. *Industrial & Engineering Chemistry*, 12(3), 279-280.

Canene-Adams, K., Campbell, J. K., Zaripheh, S., Jeffery, E. H., & Erdman, J. W. (2005). The tomato as a functional food. *The Journal of Nutrition*, 135(5), 1226-1230.

CFT S.p.A (2015). Retirado em 24/12/2015 de: [http://www.cft-group.com/products/tomato\\_5/break\\_tomato\\_paste.aspx](http://www.cft-group.com/products/tomato_5/break_tomato_paste.aspx)

Costa, J. M., & Heuvelink, E. (2005). Introduction: the tomato crop and industry. *Tomatoes*, 1-19.

Crelier, S., Robert, M. C., Claude, J., & Juillerat, M. A. (2001). Tomato (*Lycopersicon esculentum*) pectin methylesterase and polygalacturonase behaviors regarding heat-and pressure-induced inactivation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49, 5566–5575.

Daoudi, L., Quevedo, J. M., Trujillo, A. J., Capdevila, F., Bartra, E., Mínguez, S., & Guamis, B. (2002). Effects of high-pressure treatment on the sensory quality of white grape juice. *International Journal of High Pressure Research*, 22(3-4), 705-709.

Dunne, C. P. (2005). *High pressure keeps food fresher*. Retirado em 18/03/2013 de: <http://www.natick.army.mil/about/pao/05/05-22.htm>.

Elez-Martinez, P., & Martin-Belloso, O. (2007). Effects of high intensity pulsed electric field processing conditions on vitamin C and antioxidant capacity of orange juice and gazpacho, a cold vegetable soup. *Food Chemistry*, 102(1), 201-209.

European Commission. (1997). Regulation (EC) No 258/97 of the European Parliament and of the Council of 27 January 1997 concerning novel foods and novel food ingredients, , *Official Journal of the European Union Legislation* 43(14/02), 1–6.

Fachin, D., van Loey, A. M., Nguyen, B. L., Verlent, I., Indrawati, & Hendrickx, M. E. (2003). Inactivation kinetics of polygalacturonase in tomato juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 4, 135–142.

FAOSTAT (2015) Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics Division. Retirado em 12/12/2015 de: <http://faostat3.fao.org/>

Farkas, D. F., & Hoover, D. G. (2000). High pressure processing. *Journal of Food Science*, 65(8), 47-64.

Gaze, J. E. (2006). *Pasteurisation: A food industry practical guide*. Campden & Chorleywood Food Research Association Group.

Giovannucci, E. (1999). Tomatoes, tomato-based products, lycopene, and cancer: review of the epidemiologic literature. *Journal of the National Cancer Institute*, 91(4), 317-331.

Goodman, C. L., Fawcett, S., & Barringer, S. A. (2002). Flavor, viscosity, and color analyses of hot and cold break tomato juices. *Journal of Food Science*, 67(1), 404–408.

Gould, G. W. (1996). Methods for preservation and extension of shelf life. *International Journal of Food Microbiology*, 33(1), 51-64.

- Gould, W. A. (1992). Gould, W. A. (2013). *Tomato production, processing and technology*. Elsevier.
- Greve, L. C., McArdle, R. N., Gohlke, J. R., & Labavitch, J. M. (1994a). Impact of heating on carrot firmness: changes in cell wall components. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42(12), 2900-2906.
- Greve, L. C., Shackel, K. A., Ahmadi, H., McArdle, R. N., Gohlke, J. R., & Labavitch, J. M. (1994b). Impact of heating on carrot firmness: contribution of cellular turgor. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42(12), 2896-2899.
- Gutiérrez-López, G. F., Welte-Chanes, J., & Parada-Arias, E. (Eds.). (2008). *Food engineering: Integrated approaches*. Springer Science & Business Media.
- Hayes, W. A., Smith, P. G., & Morris, A. E. J. (1998). The production and quality of tomato concentrates. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 38(7), 537-564.
- Hite, B. H. (1899). *The effect of pressure in the preservation of milk: A preliminary report* (Vol. 58). West Virginia Agricultural Experiment Station.
- Hsu, K. C. (2008a). Evaluation of processing qualities of tomato juice induced by thermal and pressure processing. *LWT-Food Science and Technology*, 41(3), 450-459.
- Hsu, K. C., Tan, F. J., & Chi, H. Y. (2008b). Evaluation of microbial inactivation and physicochemical properties of pressurized tomato juice during refrigerated storage. *LWT-Food Science and Technology*, 41(3), 367-375.
- Islam, M. S., Inoue, A., Igura, N., Shimoda, M., & Hayakawa, I. (2006). Inactivation of *Bacillus* spores by the combination of moderate heat and low hydrostatic pressure in ketchup and potage. *International Journal of Food Microbiology*, 107, 124-130.
- King, J. W. (2014). Modern supercritical fluid technology for food applications. *Annual Review of Food Science and Technology*, 5, 215-238.
- Koo, K. M., Kim, H. W., Lee, D. S., Lyu, E. S., & Paik, H. D. (2008). Quality changes during storage of cook-chilled soybean sprouts. *Food Science and Biotechnology*, 17(3), 540-546.
- Krebbes, B., Matser, A. M., Koets, M., & Van den Berg, R. W. (2002). Quality and storage-stability of high-pressure preserved green beans. *Journal of Food Engineering*, 54(1), 27-33.
- Lang, J. (2004). Exploring the Tomato: Transformations of Nature, Society, and Economy (review). *Technology and Culture*, 45(1), 222-224.
- Larson, W., Hartzell, T., & Diehl, H. (1918). The Effect of High Pressures on Bacteria. *The Journal of Infectious Diseases*, 22(3), 271-279.
- Mújica-Paz, H., Valdez-Fragoso, A., Samson, C. T., Welte-Chanes, J., & Torres, J. A. (2011). High-pressure processing technologies for the pasteurization and sterilization of foods. *Food and Bioprocess Technology*, 4(6), 969-985.
- National Advisory Committee on Microbiological Criteria for Foods (NACMCF). (1992). Vacuum or modified atmosphere packaging for refrigerated raw fishery products. Retirado em 24/12/2015 de: [http://www.fsis.usda.gov/OPHS/nacmcf/past/map\\_fishery.htm](http://www.fsis.usda.gov/OPHS/nacmcf/past/map_fishery.htm)

- Norton, T., & Sun, D. W. (2008). Recent advances in the use of high pressure as an effective processing technique in the food industry. *Food and Bioprocess Technology*, 1(1), 2-34.
- Odriozola-Serrano, I., Soliva-Fortuny, R., & Martín-Belloso, O. (2008). Changes of health-related compounds throughout cold storage of tomato juice stabilized by thermal or high intensity pulsed electric field treatments. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 9(3), 272-279.
- Odriozola-Serrano, I., Soliva-Fortuny, R., Hernández-Jover, T., & Martín-Belloso, O. (2009). Carotenoid and phenolic profile of tomato juices processed by high intensity pulsed electric fields compared with conventional thermal treatments. *Food Chemistry*, 112(1), 258-266.
- Oey, I., Lille, M., Van Loey, A., & Hendrickx, M. (2008). Effect of high-pressure processing on colour, texture and flavour of fruit-and vegetable-based food products: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 19(6), 320-328.
- Okamoto, M. (1992). The contribution by diffusion to the cycloaddition reactions of singlet oxygen with furans in solution under high pressure. *The Journal of Physical Chemistry*, 96(1), 245-248.
- Park, S. H., Balasubramaniam, V. M., & Sastry, S. K. (2014). Quality of shelf-stable low-acid vegetables processed using pressure–ohmic–thermal sterilization. *LWT-Food Science and Technology*, 57(1), 243-252.
- Park, S. H., Balasubramaniam, V. M., Sastry, S. K., & Lee, J. (2013). Pressure–ohmic–thermal sterilization: A feasible approach for the inactivation of *Bacillus amyloliquefaciens* and *Geobacillus stearothermophilus* spores. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 19, 115-123.
- Peng, J., Tang, J., Barrett, D. M., Sablani, S. S., & Powers, J. R. (2014). Kinetics of carrot texture degradation under pasteurization conditions. *Journal of Food Engineering*, 122, 84-91.
- Peng, J., Tang, J., Barrett, D. M., Sablani, S. S., Anderson, N., & Powers, J. R. (2015). Thermal Pasteurization of Vegetables: Critical Factors for Process Design and Effects on Quality. *Critical reviews in food science and nutrition*, (just-accepted), 00-00.
- Petr, L. and J.W. Erdman, 2005. *Lycopene and risk of cardiovascular disease*. In: Packer, L., U. Obermuller-Jevic, K. Kramer and H. Sies, (Eds.). *Carotenoids and Retinoids: Molecular Aspects and Human Health*, Champaign: AOCS Press, 204-217.
- Porretta, S., Birzi, A., Ghizzoni, C., & Vicini, E. (1995). Effects of ultra-high hydrostatic pressure treatments on the quality of tomato juice. *Food Chemistry*, 52(1), 35-41.
- Rastogi, N. K., & Knorr, D. (2013). *Recent developments in high pressure processing of foods*. Berlin: Springer.
- Rayman, A., & Baysal, T. (2011). Yield and quality effects of electroporation and microwave applications on carrot juice production and storage. *Journal of Food Science*, 76(4), C598-C605.
- Reineke, K., Mathys, A., Heinz, V., & Knorr, D. (2013). Mechanisms of endospore inactivation under high pressure. *Trends in Microbiology*, 21(6), 296-304.
- Rodrigo, D., van Loey, A., & Hendrickx, M. (2007). Combined thermal and high pressure colour degradation of tomato puree and strawberry juice. *Journal of Food Engineering*, 79, 553–560.

Rodrigues, S., & Andre, N. F. (2012). *Advances in fruit processing technologies*. Boca Raton, FL: Taylor & Francis.

Rodriguez-Amaya, D. B., & Kimura, M. (2004). *HarvestPlus handbook for carotenoid analysis*. Washington, D.C., USA: International Food Policy Research Institute (IFPRI).

Rodríguez-Azúa, R., Treuer, A., Moore-Carrasco, R., Cortacáns, D., Gutiérrez, M., Astudillo, L., Fuentes, E., & Palomo, I. (2014). Effect of Tomato Industrial Processing (Different Hybrids, Paste, and Pomace) on Inhibition of Platelet Function In Vitro, Ex Vivo, and In Vivo. *Journal of Medicinal Food*, 17(4), 505-511.

Sanchez, M. C., Valencia, C., Gallegos, C., Ciruelos, A., & Latorre, A. (2002). Influence of processing on the rheological properties of tomato paste. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82(9), 990-997.

Sánchez-Moreno, C., Plaza, L., de Ancos, B., & Cano, M. P. (2006a). Nutritional characterisation of commercial traditional pasteurized tomato juices: carotenoids, vitamin C and radical-scavenging capacity. *Food Chemistry*, 98, 749–756.

Sánchez-Moreno, C., Plaza, L., de Ancos, B., & Cano, M. P. (2006b). Impact of high-pressure and traditional thermal processing of tomato purée on carotenoids, vitamin C and antioxidant activity. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(2), 171-179.

Shi, J., Maguer, M., Bryan, M., & Kakuda, Y. (2003). Kinetics of lycopene degradation in tomato puree by heat and light irradiation. *Journal of Food Process Engineering*, 25(6), 485-498.

Shook, C. M., Shellhammer, T. H., & Schwartz, S. J. (2001). Polygalacturonase, pectinesterase, and lipoxygenase activities in high pressure- processed diced tomatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49, 664-668.

Sila, D. N., Duvetter, T., De Roeck, A., Verlent, I., Smout, C., Moates, G. K., Hills, B. P., Waldron, K. K., Hendrickx, M. & Van Loey, A. (2008). Texture changes of processed fruits and vegetables: potential use of high-pressure processing. *Trends in Food Science & Technology*, 19(6), 309-319.

Silva, F. V., & Gibbs, P. (2004). Target selection in designing pasteurization processes for shelf-stable high-acid fruit products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44(5), 353-360.

Sims, W. L. (1980) History of tomato production for industry around the world. *Acta Horticulturae* 100, 25.

Sorrells, K. M., & Leonard, B. (1988). Mechanism of acid tolerance by a yeast isolated from spoiled ketchup. *Journal of Food Protection*, 51(6), 489–490.

Soxhlet, F. (1881). Supposed conversion of starch into sugar by water at a high temperature. *Journal of the Chemical Society Abstracts*. 42, 554–570

Stern, O. (1897). The influence of a pressure of 500 atmospheres on the rate of inversion of cane sugar. *Annalen der Physik*, 59, 652

Sugal (2015) Sugal Group Retirado em 15/10/2015 de: <http://www.sugal-group.com/pt/home/>

Sugal Chile (2015). Sugal Chile Retirado em 15/10/2015 de: <http://www.sugalchile.cl/portu/index.php>

Tetra Pak (2016). Tetra Recart Retirado em 15/10/2015 de: <http://www.tetrapak.com/pt/packaging/tetra-recart>

Thakur, B. R., Singh, R. K., & Nelson, P. E. (1996). Quality attributes of processed tomato products: A review. *Food Reviews International*, 12(3), 375-401.

Toepfl, S., Mathys, A., Heinz, V., & Knorr, D. (2006). Review: potential of high hydrostatic pressure and pulsed electric fields for energy efficient and environmentally friendly food processing. *Food Reviews International*, 22(4), 405-423.

Tomoori, S. (2005). The world's first retortable carton: tetra recart. *Journal of Clinical Investigation*, 43, 732-736.

Tonello, C. (2010) Case Studies on High-Pressure Processing of Foods, in *Nonthermal Processing Technologies for Food* (eds H. Q. Zhang, G. V. Barbosa-Cánovas, V.M. Balasubramaniam, C. P. Dunne, D. F. Farkas and J. T.C. Yuan), Wiley-Blackwell, Oxford, UK, 36-50.

Tonucci, L. H., Holden, J. M., Beecher, G. R., Khachik, F., Davis, C. S., & Mulokozi, G. (1995). Carotenoid content of thermally processed tomato-based food products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43(3), 579-586.

Torregrosa, F., Esteve, M. J., Frígola, A., & Cortés, C. (2006). Ascorbic acid stability during refrigerated storage of orange–carrot juice treated by high pulsed electric field and comparison with pasteurized juice. *Journal of Food Engineering*, 73(4), 339-345.

Van Loey, A., Ooms, V., Weemaes, C., Van den Broeck, I., Ludikhuyze, L., Indrawati, Denys, S., & Hendrickx, M. (1998). Thermal and pressure-temperature degradation of chlorophyll in broccoli (*Brassica oleracea* L. *italica*) juice: a kinetic study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(12), 5289-5294.

Welti-Chanes, J., López-Malo, A., Palou, E., Bermúdez, D., Guerrero-Beltrán, J. A., & Barbosa-Cánovas, G. V. (2005). Fundamentals and applications of high pressure processing to foods. In López-Malo, A. (Ed.), *Novel Food Processing Technologies*, 157-181.



## Anexos

$$\% \text{ de Sal} = \frac{V \times N \times M}{m}$$

Fórmula 1 - Percentagem de Sal

V- Volume (mL) Nitrato de Prata gasto

N- Normalidade do Nitrato de Prata

M- Massa Molar do Cloreto de Sódio

m- Peso da amostra (g)

Tabela 15- Tabela de correspondência entre os mL de AgNO<sup>3</sup> gastos e a % de sal

ml AgNO <sup>3</sup>	% Sal	ml AgNO <sup>3</sup>	% Sal	ml AgNO <sup>3</sup>	% Sal	ml AgNO <sup>3</sup>	% Sal	ml AgNO <sup>3</sup>	% Sal
0,00	0,00	4,40	1,29	8,80	2,57	13,20	3,86	17,60	5,15
0,10	0,03	4,50	1,32	8,90	2,60	13,30	3,89	17,70	5,18
0,20	0,06	4,60	1,35	9,00	2,63	13,40	3,92	17,80	5,21
0,30	0,09	4,70	1,37	9,10	2,66	13,50	3,95	17,90	5,24
0,40	0,12	4,80	1,40	9,20	2,69	13,60	3,98	18,00	5,27
0,50	0,15	4,90	1,43	9,30	2,72	13,70	4,01	18,10	5,29
0,60	0,18	5,00	1,46	9,40	2,75	13,80	4,04	18,20	5,32
0,70	0,20	5,10	1,49	9,50	2,78	13,90	4,07	18,30	5,35
0,80	0,23	5,20	1,52	9,60	2,81	14,00	4,10	18,40	5,38
0,90	0,26	5,30	1,55	9,70	2,84	14,10	4,12	18,50	5,41
1,00	0,29	5,40	1,58	9,80	2,87	14,20	4,15	18,60	5,44
1,10	0,32	5,50	1,61	9,90	2,90	14,30	4,18	18,70	5,47
1,20	0,35	5,60	1,64	10,00	2,93	14,40	4,21	18,80	5,50
1,30	0,38	5,70	1,67	10,10	2,95	14,50	4,24	18,90	5,53
1,40	0,41	5,80	1,70	10,20	2,98	14,60	4,27	19,00	5,56
1,50	0,44	5,90	1,73	10,30	3,01	14,70	4,30	19,10	5,59
1,60	0,47	6,00	1,76	10,40	3,04	14,80	4,33	19,20	5,62
1,70	0,50	6,10	1,78	10,50	3,07	14,90	4,36	19,30	5,65
1,80	0,53	6,20	1,81	10,60	3,10	15,00	4,39	19,40	5,67
1,90	0,56	6,30	1,84	10,70	3,13	15,10	4,42	19,50	5,70
2,00	0,59	6,40	1,87	10,80	3,16	15,20	4,45	19,60	5,73
2,10	0,61	6,50	1,90	10,90	3,19	15,30	4,48	19,70	5,76
2,20	0,64	6,60	1,93	11,00	3,22	15,40	4,50	19,80	5,79
2,30	0,67	6,70	1,96	11,10	3,25	15,50	4,53	19,90	5,82
2,40	0,70	6,80	1,99	11,20	3,28	15,60	4,56	20,00	5,85
2,50	0,73	6,90	2,02	11,30	3,31	15,70	4,59	20,10	5,88
2,60	0,76	7,00	2,05	11,40	3,33	15,80	4,62	20,20	5,91
2,70	0,79	7,10	2,08	11,50	3,36	15,90	4,65	20,30	5,94
2,80	0,82	7,20	2,11	11,60	3,39	16,00	4,68	20,40	5,97
2,90	0,85	7,30	2,14	11,70	3,42	16,10	4,71	20,50	6,00
3,00	0,88	7,40	2,16	11,80	3,45	16,20	4,74	20,60	6,03
3,10	0,91	7,50	2,19	11,90	3,48	16,30	4,77	20,70	6,05
3,20	0,94	7,60	2,22	12,00	3,51	16,40	4,80	20,80	6,08
3,30	0,97	7,70	2,25	12,10	3,54	16,50	4,83	20,90	6,11
3,40	0,99	7,80	2,28	12,20	3,57	16,60	4,86	21,00	6,14
3,50	1,02	7,90	2,31	12,30	3,60	16,70	4,88	21,10	6,17
3,60	1,05	8,00	2,34	12,40	3,63	16,80	4,91	21,20	6,20
3,70	1,08	8,10	2,37	12,50	3,66	16,90	4,94	21,30	6,23
3,80	1,11	8,20	2,40	12,60	3,69	17,00	4,97	21,40	6,26
3,90	1,14	8,30	2,43	12,70	3,71	17,10	5,00	21,50	6,29
4,00	1,17	8,40	2,46	12,80	3,74	17,20	5,03	21,60	6,32
4,10	1,20	8,50	2,49	12,90	3,77	17,30	5,06	21,70	6,35
4,20	1,23	8,60	2,52	13,00	3,80	17,40	5,09	21,80	6,38
4,30	1,26	8,70	2,54	13,10	3,83	17,50	5,12	21,90	6,41

$$\% \text{ Acidez Total} = \frac{\text{ml NaOH } 0,1 \text{ N} \times F}{6}$$

F para determinar acidez cítrica monohidratada, F = 0,7

## Fórmula 2- Percentagem Acidez Total

Tabela 16- Tabela % Acidez cítrica monohidratada

ml NaOH 0,1 N	% Acidez Cítrica	ml NaOH 0,1 N	% Acidez Cítrica	ml NaOH 0,1 N	% Acidez Cítrica	ml NaOH 0,1 N	% Acidez Cítrica	ml NaOH 0,1 N	% Acidez Cítrica
2,00	0,23	7,40	0,86	12,80	1,49	18,20	2,12	23,40	2,73
2,10	0,25	7,50	0,88	12,90	1,51	18,30	2,14	23,50	2,74
2,20	0,26	7,60	0,89	13,00	1,52	18,40	2,15	23,60	2,75
2,30	0,27	7,70	0,90	13,10	1,53	18,50	2,16	23,70	2,77
2,40	0,28	7,80	0,91	13,20	1,54	18,60	2,17	23,80	2,78
2,50	0,29	7,90	0,92	13,30	1,55	18,70	2,18	23,90	2,79
2,60	0,30	8,00	0,93	13,40	1,56	18,80	2,19	24,00	2,80
2,70	0,32	8,10	0,95	13,50	1,58	18,90	2,21	24,10	2,81
2,80	0,33	8,20	0,96	13,60	1,59	19,00	2,22	24,20	2,82
2,90	0,34	8,30	0,97	13,70	1,60	19,10	2,23	24,30	2,84
3,00	0,35	8,40	0,98	13,80	1,61	19,20	2,24	24,40	2,85
3,10	0,36	8,50	0,99	13,90	1,62	19,30	2,25	24,50	2,86
3,20	0,37	8,60	1,00	14,00	1,63	19,40	2,26	24,60	2,87
3,30	0,39	8,70	1,02	14,10	1,65	19,50	2,28	24,70	2,88
3,40	0,40	8,80	1,03	14,20	1,66	19,60	2,29	24,80	2,89
3,50	0,41	8,90	1,04	14,30	1,67	19,70	2,30	24,90	2,91
3,60	0,42	9,00	1,05	14,40	1,68	19,80	2,31	25,00	2,92
3,70	0,43	9,10	1,06	14,50	1,69	19,90	2,32		
3,80	0,44	9,20	1,07	14,60	1,70	20,00	2,33		
3,90	0,46	9,30	1,09	14,70	1,72	20,10	2,35		
4,00	0,47	9,40	1,10	14,80	1,73	20,20	2,36		
4,10	0,48	9,50	1,11	14,90	1,74	20,30	2,37		
4,20	0,49	9,60	1,12	15,00	1,75	20,40	2,38		
4,30	0,50	9,70	1,13	15,10	1,76	20,50	2,39		
4,40	0,51	9,80	1,14	15,20	1,77	20,60	2,40		
4,50	0,53	9,90	1,16	15,30	1,79	20,70	2,42		
4,60	0,54	10,00	1,17	15,40	1,80	20,80	2,43		
4,70	0,55	10,10	1,18	15,50	1,81	20,90	2,44		
4,80	0,56	10,20	1,19	15,60	1,82	21,00	2,45		
4,90	0,57	10,30	1,20	15,70	1,83	21,10	2,46		
5,00	0,58	10,40	1,21	15,80	1,84	21,20	2,47		
5,10	0,60	10,50	1,23	15,90	1,86	21,30	2,49		
5,20	0,61	10,60	1,24	16,00	1,87	21,40	2,50		
5,30	0,62	10,70	1,25	16,10	1,88	21,50	2,51		
5,40	0,63	10,80	1,26	16,20	1,89	21,60	2,52		
5,50	0,64	10,90	1,27	16,30	1,90	21,70	2,53		
5,60	0,65	11,00	1,28	16,40	1,91	21,80	2,54		
5,70	0,67	11,10	1,30	16,50	1,93	21,90	2,56		
5,80	0,68	11,20	1,31	16,60	1,94	22,00	2,57		
5,90	0,69	11,30	1,32	16,70	1,95	22,10	2,58		
6,00	0,70	11,40	1,33	16,80	1,96	22,20	2,59		
6,10	0,71	11,50	1,34	16,90	1,97	22,30	2,60		
6,20	0,72	11,60	1,35	17,00	1,98	22,40	2,61		
6,30	0,74	11,70	1,37	17,10	2,00	22,50	2,63		
6,40	0,75	11,80	1,38	17,20	2,01	22,60	2,64		
6,50	0,76	11,90	1,39	17,30	2,02	22,70	2,65		
6,60	0,77	12,00	1,40	17,40	2,03	22,80	2,66		
6,70	0,78	12,10	1,41	17,50	2,04	22,90	2,67		
6,80	0,79	12,20	1,42	17,60	2,05	23,00	2,68		
6,90	0,81	12,30	1,44	17,70	2,07	23,10	2,70		
7,00	0,82	12,40	1,45	17,80	2,08	23,20	2,71		
7,10	0,83	12,50	1,46	17,90	2,09	23,30	2,72		
7,20	0,84	12,60	1,47	18,00	2,10	23,40	2,73		
7,30	0,85	12,70	1,48	18,10	2,11	23,50	2,74		

Tabela 17- Tabela Correção acidez para Correção do Brix Refratométrico  
(<http://www.cobell.co.uk/uploads/downloads/Acidity%20correction%20values.pdf>)

Anhydrous Citric Acid, %w/w	Correction to be added, °Brix	Anhydrous Citric Acid, %w/w	Correction to be added, °Brix	Anhydrous Citric Acid, %w/w	Correction to be added, °Brix
0.00	0.00	7.40	1.42	14.80	2.78
0.20	0.04	7.60	1.46	15.00	2.81
0.40	0.08	7.80	1.50	15.20	2.85
0.60	0.12	8.00	1.54	15.40	2.89
0.80	0.16	8.20	1.58	15.60	2.93
1.00	0.20	8.40	1.62	15.80	2.97
1.20	0.24	8.60	1.66	16.00	3.00
1.40	0.28	8.80	1.69	16.20	3.03
1.60	0.32	9.00	1.72	16.40	3.06
1.80	0.36	9.20	1.76	16.60	3.09
2.00	0.39	9.40	1.80	16.80	3.13
2.20	0.43	9.60	1.83	17.00	3.17
2.40	0.47	9.80	1.87	17.20	3.21
2.60	0.51	10.00	1.91	17.40	3.24
2.80	0.54	10.20	1.95	17.60	3.27
3.00	0.58	10.40	1.99	17.80	3.31
3.20	0.62	10.60	2.03	18.00	3.35
3.40	0.66	10.80	2.06	18.20	3.38
3.60	0.70	11.00	2.10	18.40	3.42
3.80	0.74	11.20	2.14	18.60	3.46
4.00	0.78	11.40	2.18	18.80	3.49
4.20	0.81	11.60	2.21	19.00	3.53
4.40	0.85	11.80	2.24	19.20	3.56
4.60	0.89	12.00	2.27	19.40	3.59
4.80	0.93	12.20	2.31	19.60	3.63
5.00	0.97	12.40	2.35	19.80	3.67
5.20	1.01	12.60	2.39	20.00	3.70
5.40	1.04	12.80	2.42	20.20	3.73
5.60	1.07	13.00	2.46	20.40	3.77
5.80	1.11	13.20	2.50	20.60	3.80
6.00	1.15	13.40	2.54	20.80	3.84
6.20	1.19	13.60	2.57	21.00	3.88
6.40	1.23	13.80	2.61	21.20	3.91
6.60	1.27	14.00	2.64	21.40	3.95
6.80	1.30	14.20	2.68	21.60	3.99
7.00	1.34	14.40	2.72	21.80	4.02
7.20	1.38	14.60	2.75	22.00	4.05

